التفسير العلمي

TAFSIR ILMI

SAMUDRA

Dalam Perspektif Al-Qur'an dan Sains

Lajnah Pentashihan Mushaf Al-Qur’an
Badan Litbang dan Diklat
Kementerian Agama RI

SAMUDRA

Dalam Perspektif Al-Qur'an dan Sains

Disusun atas kerja sama

Lajnah Pentashihan Mushaf Al-Qur'an
Badan Litbang & Diklat Kementerian Agama RI
dengan Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia (LIPI)

Lajnah Pentashihan Mushaf Al-Qur'an
Badan Litbang Diklat
Kementerian Agama RI

"Dengan nama Allah yang Maha Pengasih, Maha Penyayang"

SAMUDRA
Dalam Perspektif Al-Qur'an dan Sains

Cetakan Pertama, Syawal 1434 H/September 2013 M

Oleh:
Lajnah Pentashihan Mushaf Al-Qur'an
Gedung Bayt Al-Qur'an dan Museum Istiqlal
Jl. Raya TMII Pintu I Jakarta Timur 13560
Website: lajnah.kemenag.go.id
Email: lpmajkt@kemenag.go.id
Anggota IKAPI DKI Jakarta

Disusun atas kerja sama:
Lajnah Pentashihan Mushaf Al-Qur'an
Badan Litbang & Diklat Kementerian Agama RI
dengan Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia (LIPI)

Perpustakaan Nasional RI: Katalog Dalam Terbitan (KDT)

Samudra dalam Perspektif Al-Qur'an dan Sains
(Tafsir Ilmi)

Jakarta: Lajnah Pentashihan Mushaf Al-Qur'an
3 Jilid; 17.5 x 25 cm

Diterbitkan oleh Lajnah Pentashihan Mushaf Al-Qur'an dengan biaya DIPA Lajnah Pentashihan Mushaf Al-Qur'an Tahun 2013
Sebanyak: 1000 Eksemplar

ISBN: 978-602-9306-37-8

1. Samudra dalam Perspektif Al-Qur'an dan Sains I. Judul

PEDOMAN TRANSLITERASI ARAB-LATIN

Keputusan Bersama Menteri Agama dan Menteri P dan K
No. 158 tahun 1987 — Nomor 0543/b/u/1987

1. Konsonan

No.	Arab	Latin
1	ا	Tidak dilambangkan
2	ب	b
3	ت	t
4	ث	ṡ
5	ج	j
6	ح	ḥ
7	خ	kh
8	د	d
9	ذ	ż
10	ر	r
11	ز	z
12	س	s
13	ش	sy
14	ص	ṣ
15	ض	ḍ
16	ط	ṭ
17	ظ	ẓ
18	ع	‘
19	غ	g
20	ف	f
21	ق	q
22	ك	k
23	ل	l
24	م	m
25	ن	n
26	و	w
27	هـ	h
28	ء	‘
29	ي	y

2. Vokal Pendek

ـَــ	= a	كَتَبَ	kataba
ـِــ	= i	سُئِلَ	su'ila
ـُــ	= u	يَذْهَبُ	yażhabu

3. Vokal Panjang

ـَا	= ā	قَالَ	Qāla
ـِـي	= ī	قِيْلَ	Qīla
ـُـو	= ū	يَقُوْلُ	Yaqūlu

4. Diftong

ـَـي	= ai	كَيْفَ	kaifa
ـَـوْ	= au	حَوْلَ	ḥaula

SAMBUTAN DAN KATA PENGANTAR

MENTERI AGAMA RI

KEPALA BADAN LITBANG DAN DIKLAT
KEMENTERIAN AGAMA RI

KEPALA LAJNAH PENTASHIHAN MUSHAF AL-QUR'AN
KEMENTERIAN AGAMA RI

KEPALA LEMBAGA ILMU PENGETAHUAN INDONESIA
(LIPI)

MEMAHAMI ISYARAT-ISYARAT ILMIAH
AL-QUR'AN: SEBUAH PENGANTAR

SAMBUTAN MENTERI AGAMA RI

Assalamu'alaikum wr. wb.

Dengan memanjatkan puji dan syukur ke hadirat Allah saya menyambut gembira penerbitan tafsir ilmi (tafsir ayat-ayat kauniyah) dalam Al-Qur'an yang disusun oleh Tim Penyusun Tafsir Ilmi Lajnah Pentashihan Mushaf Al-Qur'an Badan Litbang dan Diklat Kementerian Agama, bekerja sama dengan Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia (LIPI).

Al-Qur'an yang diturunkan Allah kepada Nabi Muhammad sejak lima belas abad yang silam telah membuka mata hati dan pikiran umat manusia terhadap kunci segala ilmu, yaitu membaca (*iqra'*). Perintah membaca dalam wahyu pertama merupakan suatu revolusi ilmu pengetahuan (*scientific revolution*) yang terbesar dalam sejarah peradaban kemanusiaan. Oleh karena itu, sungguh menjadi kewajiban bagi umat Islam untuk memahami *sunnatullāh* dan menguasai ilmu pengetahuan yang secara tersurat dan tersirat yang ada di dalam rangkaian ayat-ayat suci Al-Qur'an.

Penyusunan tafsir ilmi dilakukan berdasarkan masukan dari para ulama dan pakar dari disiplin ilmu yang beragam. Melalui tafsir ilmi ini kita diajak untuk mengamati dan memperhatikan alam semesta yang terbentang luas, termasuk mengamati diri sendiri dengan pendekatan teori-teori ilmu pengetahuan yang telah teruji. Keyakinan tauhid akan semakin kokoh dengan mendalami makna ayat-ayat Al-Qur'an yang menjelaskan kekuasaan-Nya dalam menciptakan alam semesta dan memelihara keserasiannya.

Dalam era perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi dewasa ini, ayat-ayat tentang ilmu pengetahuan dalam Al-Qur'an semakin banyak di-

buktikan kebenarannya dengan penemuan-penemuan ilmiah secara empiris dan objektif. Untuk itu, mari kita menghadirkan misi Islam yang universal dalam kehidupan masyarakat modern dengan memahami fenomena-fenomena alam semesta melalui petunjuk-petunjuk Al-Qur'an.

Saya menyampaikan penghargaan yang tinggi dan terima kasih yang tak terhingga kepada pihak-pihak yang telah memberikan andilnya dalam penyusunan dan penerbitan tafsir ilmi ini. Mudah-mudahan upaya ini menjadi amal saleh yang bermanfaat bagi masyarakat dalam meningkatkan kualitas pemahaman dan pengamalan Al-Qur'an oleh masyarakat sebagai bagian integral dari upaya pembangunan karakter bangsa.

Semoga Allah membimbing kita semua untuk dapat memahami ayat-ayat Allah yang terhimpun di dalam Kitab Suci Al-Qur'an dan memahami tanda-tanda kekuasaan-Nya yang terhampar di alam semesta.

Sekian dan terima kasih.

Wassalamu‘alaikum wr. wb.

Jakarta, Juni 2013

Menteri Agama RI,

Drs. H. Suryadharma Ali, M.Si

SAMBUTAN
KEPALA BADAN LITBANG DAN DIKLAT
KEMENTERIAN AGAMA RI

Assalamu'alaikum Wr. Wb.

Pemerintah menaruh perhatian besar terhadap upaya peningkatan kualitas kehidupan beragama sesuai amanat pasal 29 UUD 1945 yang dijabarkan dalam berbagai peraturan perundangan, di antaranya Peraturan Presiden Republik Indonesia Nomor 5 Tahun 2010 tentang Rencana Pembangunan Jangka Menengah Nasional (RPJMN) 2010–2014. Dalam peraturan ini disebutkan bahwa fokus prioritas peningkatan kualitas kehidupan beragama meliputi:

1. Peningkatan kualitas pemahaman dan pengamalan agama;
2. Peningkatan kualitas kerukunan umat beragama;
3. Peningkatan kualitas pelayanan kehidupan beragama; dan
4. Pelaksanaan ibadah haji yang tertib dan lancar.

Salah satu sarana untuk meningkatkan kualitas pemahaman dan pengamalan agama, terutama bagi umat Islam, adalah penyediaan kitab suci Al-Qur'an dan tafsirnya. Kedudukan Al-Qur'an sebagai kitab suci sangatlah istimewa. Di samping merupakan sumber pokok ajaran Islam dan petunjuk hidup (*hudā*), Al-Qur'an juga sarat dengan isyarat-isyarat ilmiah yang menunjukkan kebesaran dan kekuasaan Allah *subḥānahu wa ta'ālā*.

Al-Qur'an, berdasarkan penelitian Zaglūl an-Najjār, seorang ahli geologi muslim asal Mesir, memuat kurang lebih 750–1000 ayat yang mengandung isyarat ilmiah, sementara ayat-ayat hukum hanya berkisar 200–250 ayat. Kendati demikian, kita mewarisi dari para ulama ribuan judul kitab-kitab fikih dan hanya beberapa judul buku-buku ilmiah, padahal Allah dalam

perintah-Nya kepada manusia untuk memahami ayat-ayat Al-Qur'an tidak pernah membedakan antara dua kelompok ayat tersebut. Kalaulah ayat-ayat hukum, muamalat, akhlak, dan akidah merupakan petunjuk bagi manusia untuk mengenal Tuhan dan berperilaku terpuji sesuai petunjuk-Nya, maka sesungguhnya ayat-ayat ilmiah juga merupakan petunjuk akan keagungan dan kekuasaaan Tuhan di alam raya ini. Dari sini, upaya menjelaskan maksud firman Allah yang mengandung isyarat ilmiah yang disebut dengan "tafsir ilmi" menjadi penting, sama pentingnya dengan penjelasan atas ayat-ayat hukum. Bedanya, tafsir ilmi menyangkut fenomena alam, sementara tafsir hukum menyangkut hukum-hukum manusia. Bahkan menurut sementara pakar, tafsir ilmi dapat menjadi "ilmu kalam baru" yang dapat memperteguh keimanan manusia modern khususnya di era ilmu pengetahuan dan teknologi seperti saat ini.

Bila pada masa dulu para ulama menjelaskan ilmu-ilmu tentang ketuhanan yang menjadi objek ilmu kalam dengan pendekatan filosofis, maka pada era modern ini Tafsir Ilmi dapat menjadi model baru dalam mengenalkan Tuhan kepada akal manusia modern. Lebih dari itu, melalui pendekatan saintifik terhadap ayat-ayat yang mengandung isyarat ilmiah, buku ini hadir dengan membawa urgensinya sendiri; urgensi yang mewujud dalam bentuk apresiasi Islam terhadap perkembangan ilmu pengetahuan sekaligus menjadi bukti bahwa agama dan ilmu pengetahuan tidak saling bertentangan.

Kepada para ulama dan pakar yang berkontribusi dalam penyusunan buku tafsir ilmi ini, khususnya yang berasal dari Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia (LIPI), Lembaga Penerbangan dan Antariksa Nasional (LAPAN), Observatorium Bosscha Institut Teknologi Bandung (ITB), dan para pakar lainnya kami menyampaikan penghargaan yang tulus dan ucapan terima kasih yang tak terhingga. Semoga karya yang telah dihasilkan oleh tim penyusun Tafsir Ilmi bermanfaat bagi masyarakat muslim di Indonesia pada khususnya dan masyarakat dunia Islam pada umumnya, serta dicatat dalam timbangan amal saleh.

Wassalamu'alaikum wr. wb.

Jakarta, Juni 2013
Kepala Badan Litbang dan Diklat

Prof. Dr. H. Machasin, M.A.
NIP. 19561013 198103 1 003

SAMBUTAN
KEPALA LAJNAH PENTASHIHAN MUSHAF AL-QUR'AN
KEMENTERIAN AGAMA RI

Assalamu'alaikum wr. wb.

Sebagai salah satu wujud upaya peningkatan kualitas pemahaman, penghayatan, dan pengamalan ajaran Islam (Al-Qur'an) dalam kehidupan bermasyarakat, berbangsa, dan bernegara, Lajnah Pentashihan Mushaf Al-Qur'an Badan Litbang dan Diklat Kementerian Agama RI pada tahun 2012 telah melaksanakan kegiatan kajian dan penyusunan Tafsir Ilmi atau Tafsir Ayat-ayat Kauniyah. Metode yang diterapkan dalam kajian dan penyusunan tafsir ini serupa dengan metode yang digunakan dalam kajian dan penyusunan Tafsir Tematik. Sebagai langkah awal, ayat-ayat yang terkait dengan sebuah persoalan dihimpun untuk selanjutnya dianalisis dalam rangka menemukan pandangan Al-Qur'an yang utuh menyangkut persoalan tersebut. Hanya saja Tafsir Tematik yang saat ini juga sedang dikembangkan oleh Kementerian Agama menitikberatkan bahasannya pada persoalan akidah, akhlak, ibadah, dan sosial, sedangkan Tafsir Ilmi fokus pada kajian saintifik terhadap ayat-ayat kauniyah dalam Al-Qur'an.

Dalam beberapa tahun terakhir telah terwujud kerja sama yang baik antara Kementerian Agama dengan Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia (LIPI) dalam upaya menjelaskan ayat-ayat kauniyah dalam rangka penyempurnaan buku *Al-Qur'an dan Tafsirnya*. Hasil kajian ayat-ayat kauniyah ini dimasukkan ke dalam tafsir tersebut sesuai tempatnya sebagai tambahan penjelasan atas tafsir yang ada, yang disusun berdasarkan urutan mushaf.

Kerja sama dua instansi ini berlanjut ke arah kajian dan penyusunan Tafsir Ilmi semenjak tahun 2009 silam. Hingga saat ini sudah ada sepuluh

judul buku yang berhasil disusun dan diterbitkan. Kegiatan kajian dan penyusunan Tafsir Ilmi pada Tahun Anggaran 2012 menghasilkan tiga tema yang diterbitkan pada tahun 2013 ini. Ketiganya adalah:

1. *Makanan dan Minuman dalam Perspektif Al-Qur'an dan Sains,* dengan pembahasan: 1) Pendahuluan; 2) Sumber Makanan dan Nilai Gizi; 3) Metabolisme Makanan dalam Tubuh; 4) Keamanan Pangan; 5) Makanan Halal dan Haram; 6) Penutup.
2. *Samudra dalam Perspektif Al-Qur'an dan Sains,* dengan pembahasan: 1) Pendahuluan; 2) Penciptaan Samudra; 3) Peran Laut untuk Kehidupan di Bumi; 4) Laut sebagai Tanda Kemahakuasaan Allah; 5) Laut sebagai Rahmat Allah; 6) Bencana Kelautan; 7) Penutup.
3. *Waktu dalam Perspektif Al-Qur'an dan Sains,* dengan pembahasan: 1) Pendahuluan; 2) Ungkapan Waktu di dalam Al-Quran dan Makna Saintifiknya; 3) Konsep dan Aplikasi Penentuan Waktu Menurut Al-Qur'an dan Sains; 4) Waktu Berawal dan Berakhir; 5) Relativitas Waktu dalam Kisah Al-Qur'an dan Kajian Ilmiahnya; 6) Penutup.

Tim kajian dan penyusunan Tafsir Ilmi terdiri atas para pakar dengan latar belakang keilmuan yang berbeda dan dapat dibedakan dalam dua kelompok. *Pertama*, mereka yang menguasai persoalan kebahasaan dan hal lain yang terkait penafsiran Al-Qur'an, seperti *asbābun-nuzūl, munāsabātul-āyāt*, riwayat-riwayat dalam penafsiran, dan ilmu-ilmu keislaman lainnya. *Kedua*, mereka yang menguasai persoalan-persoalan saintifik, seperti fisika, kimia, geologi, biologi, astronomi, dan lainnya. Kelompok pertama disebut Tim Syar'i, dan yang kedua disebut Tim Kauni. Keduanya bersinergi dalam bentuk *ijtihād jamā'i* (ijtihad kolektif) untuk menafsirkan ayat-ayat kauniyah dalam Al-Qur'an. Tim penyusun Tafsir Ilmi tahun 2011 terdiri dari:

Pengarah:

1. Kepala Badan Litbang dan Diklat Kementerian Agama RI
2. Kepala Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia
3. Kepala Lajnah Pentashihan Mushaf Al-Qur'an

Narasumber:

1. Prof. Dr. H. Umar Anggara Jenie, Apt., M.Sc.
2. Prof. Dr. H. M. Quraish Shihab, MA
3. Prof. Dr. H. M. Atho Mudzhar
4. Prof. Dr. H. Muhammad Kamil Tajudin
5. Dr. K.H. Ahsin Sakho Muhammad, MA.

Ketua:
Prof. Dr. H. Hery Harjono

Wakil Ketua:
Dr. H. Muchlis M. Hanafi, MA

Sekretaris:
Prof. Dr. H. Muhammad Hisyam

Anggota:
1. Prof. Dr. Thomas Djamaluddin
2. Prof. Dr. Ir. Arie Budiman, M.Sc
3. Prof. Safwan Hadi, Ph.D
4. Prof. Dr. H. Hamdani Anwar, MA
5. Prof. Dr. H. M. Darwis Hude, M.Si
6. Prof. Dr. H. E. Syibli Syarjaya, MM
7. Dr. H. Moedji Raharto
8. Prof. Dr. H. Soemanto Imamkhasani
9. Dr. Ir. H. Hoemam Rozie Sahil
10. Dr. Ir. M. Rahman Djuwansah
11. Dr. Ali Akbar
12. Dra. Endang Tjempakasari, M.Lib

Staf Sekretariat:
1. H. Zarkasi, MA
2. H. Deni Hudaeny AA., MA
3. Jonni Syatri, MA
4. Muhammad Musadad, S.Th.I
5. Muhammad Fatichuddin, S.S.I

Mengingat kemajuan ilmu pengetahuan dan teknologi yang sangat cepat dan menuntut pemahaman yang komprehensif tentang ayat-ayat Al-Qur'an, maka kami berharap kajian dan penyusunan Tafsir Ilmi ini dapat berlanjut seiring dengan dinamika yang terjadi dalam masyarakat.

Akhirnya, kami sampaikan terima kasih yang tulus kepada Menteri Agama yang telah memberikan petunjuk dan dukungan bagi penyusunan Tafsir Ilmi ini. Kami juga menyampaikan terima kasih yang dalam kepada Kepala Badan Litbang dan Diklat Kementerian Agama atas saran dan dukungannya bagi terlaksananya tugas ini. Penghargaan dan ucapan terima kasih kami sampaikan pula kepada para ulama dan pakar, khususnya dari Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia (LIPI), Lembaga Penerbangan dan Antariksa Nasional (LAPAN), Universitas Gajah Mada (UGM) Yogyakarta, Observatorium Bosscha Institut Teknologi Bandung (ITB), dan para pakar lainnya yang telah terlibat dalam penyusunan Tafsir Ilmi ini. Semoga karya yang dihasilkan bermanfaat bagi masyarakat muslim Indonesia khususnya dan masyarakat muslim di dunia pada umumnya, serta dicatat dalam timbangan amal saleh.

Wassalamu'alaikum wr. wb.

Jakarta, Juni 2013

Kepala Lajnah Pentashihan Mushaf Al-Qur'an

KEMENTERIAN AGAMA
Lajnah Pentashihan Mushaf Al-Qur'an
JAKARTA

Drs. H. Muhammad Shohib, MA
NIP. 19540709 198603 1 002

SAMBUTAN
KEPALA LEMBAGA ILMU PENGETAHUAN INDONESIA (LIPI)

Bismillahirraḥmānirraḥīm

Puji syukur kita panjatkan ke hadirat Allah atas terbitnya buku seri keempat Tafsir Ilmi, yang merupakan hasil kerja sama antara Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia (LIPI) dengan Lajnah Pentashihan Mushaf Al-Qur'an, Badan Litbang dan Diklat Kementerian Agama RI.

Seri keempat ini terdiri dari tiga judul: *Makanan dan Minuman dalam Perspektif Al-Qur'an dan Sains; Samudera dalam Perspektif Al-Qur'an dan Sains;* dan *Waktu dalam Perspektif Al-Qur'an dan Sains*. Terbitnya tiga buku ini tentu menambah khazanah keilmuan yang memadukan antara ilmu naqli (bersumber pada Kitab Suci) dengan ilmu 'aqli (bersumber pada olah rasio) yang dalam sejarah Islam telah menjadi tradisi sejak awal perkembangan peradaban sains Islam di abad 9 Masehi hingga hari ini. Walaupun usaha-usaha pengembangan ilmu pengetahuan jenis ini telah berlangsung lebih dari satu milenium, tetapi masih saja terdapat rahasia ayat-ayat qauliyah maupun kauniyah yang belum terungkap. Ini merupakan pertanda bahwa Allah tidak memberikan ilmu kepada manusia kecuali sedikit saja (al-Isrā'/17: 85).

Sebagai umat Islam kita meyakini bahwa Al-Qur'an merupakan kitab yang selalu *up to date*, bukan kitab lama yang usang dan tidak relevan lagi dengan kemajuan kehidupan dan perubahan zaman. Al-Qur'an adalah kitab tentang masa lalu, masa kini, dan masa yang akan datang, yang mampu memberi petunjuk kepada umat manusia karena ia memang didesain sebagai *hudan lin-nās*, petunjuk Tuhan untuk kehidupan manusia (al-Baqarah/2: 185), sehingga karenanya ia perlu dibuka dan dikaji setiap saat, dan terus-menerus.

Upaya mengungkap makna Al-Qur'an melalui metode ilmu pengetahuan makin hari semakin menarik minat kalangan ilmuwan, lantaran temuan-temuan ilmu pengetahuan dan teknologi mutakhir ini banyak yang membuktikan kebenaran pernyataan dalam Al-Qur'an. Dalam Al-Qur'an terdapat banyak sekali informasi tentang ilmu pengetahuan dan teknologi yang kian hari kian terbukti melalui penelitian dan eksperimen. Konfirmasi timbal balik ini menandai hubungan positif antara Al-Qur'an dan ilmu pengetahuan. Ini menunjukkan adanya kaitan antara kesadaran pentingnya kemajuan ilmu pengetahuan dan teknologi untuk kehidupan di satu pihak, dengan pemahaman atas kitab suci yang diwahyukan untuk memahami hakikat penciptaan kehidupan dan kesemestaan di lain pihak.

Allah telah memberikan begitu banyak sumber daya untuk kehidupan. Sebagai contoh energi yang telah mengubah kehidupan manusia begitu banyak adalah milik-Nya yang dicurahkan untuk manusia. Cadangan sumber daya energi yang tersimpan dalam bumi hingga limpahan cahaya matahari telah tersedia dan kita tinggal memanfaatkannya. Pendek kata, Allah telah menyiapkan semuanya dengan sangat terukur untuk bekal manusia dalam memenuhi tugasnya sebagai *khalīfatullāh* dan sebagai nikmat Allah untuk manusia. Tetapi kebanyakan manusia memanfaatkan nikmat itu melebihi timbangan, dan tidak memperhitungkan akibatnya. Maka timbullah kerusakan di atas bumi. “Maka nikmat Tuhanmu yang mana lagi hendak kamu dustakan?” Inilah peringatan Tuhan dalam Surah ar-Raḥmān yang diulang hingga 31 kali. Begitu banyak nikmat Allah diberikan kepada manusia, tetapi kebanyakan manusia tidak bersyukur.

Kesadaran seperti ini sangat penting bagi bangsa Indonesia yang tengah mengembangkan kehidupan maju, berbudaya, ber-*tamaddun* dan berkeseimbangan. Kemajuan yang sejajar dengan negara-negara maju lainnya, tetapi memiliki kelebihan dari bangsa-bangsa lain oleh kesadaran ilahiyah yang dimilikinya. Buku-buku yang diterbitkan Kementerian Agama ini merupakan salah satu upaya memahami Al-Qur'an dengan metode ilmu pengetahuan, sehingga sering disebut sebagai “Tafsir Ilmi”. Tujuannya adalah menjadikan Al-Qur'an sebagai paradigma dan dasar yang memberi makna spiritual kepada ilmu pengetahuan dan teknologi, bukan sebaliknya. Memberi makna spiritual terhadap ilmu pengetahuan dan teknologi ini sangat penting justru ketika ilmu pengetahuan dan teknologi

yang berkembang sekarang berwajah bebas nilai dan sekuler. Di tengah kecenderungan sekarang di mana banyak ilmuwan yang bersemangat mengkaji Al-Qur'an dalam kaitannya dengan ilmu pengetahuan, maka pengkajian Al-Qur'an yang melibatkan ulama dan saintis seperti yang menghasilkan buku-buku ini sangat kita hargai. Harapan saya adalah harapan kita semua, semoga buku-buku ini memberi pencerahan kepada kita semua dalam upaya menjadikan Al-Qur'an pegangan dan pedoman dalam kehidupan di zaman mutakhir ini.

Mengakhiri sambutan ini sepatutnya saya menyampaikan ucapan terima kasih kepada Kepala Badan Litbang dan Diklat Kementerian Agama dan Kepala Lajnah Pentashihan Mushaf Al-Qur'an yang telah memprakarsai dan memfasilitasi penulisan buku ini. Kami juga ingin menyampaikan penghargaan dan terima kasih kepada semua pihak yang telah berusaha melahirkan buku-buku ini. Secara khusus terima kasih disampaikan kepada para penulis, yang dalam lingkungan terbatas disebut Tim Syar'i dan Tim Kauni. Tim Syar'i terdiri dari sejumlah ulama Al-Qur'an, yaitu: Prof. Dr. H. M. Quraish Shihab, M.A; Prof. Dr. H. M. Atho Mudzhar; Dr. H. Ahsin Sakho Muhammad; Prof. Dr. H. Syibli Syarjaya, LML; Prof. Dr. H. Hamdani Anwar; Dr. H. Muchlis M. Hanafi, M.A.; dan Prof. Dr. H. M. Darwis Hude, M.Si; serta Tim Kauni yang terdiri dari para saintis, yaitu: Prof. Dr. H. Umar Anggara Jenie, M.Sc.; Prof. Dr. dr. M. Kamil Tajudin, Sp.And.; Prof. Dr. Hery Harjono; Dr. H. Muhammad Hisyam, MA; Prof. Dr. H. Thomas Djamaluddin; Prof. Dr. Arie Budiman; Prof. Safwan Hadi, Ph.D; Dr. H. Mudji Raharto; Dr. H. Sumanto Imam Khasani; Ir. H. Hoemam Rozie Sahil; Dr. H. M. Rahman Djuwansyah; Dr. Ali Akbar, dan Dra. Endang Tjempakasari, M.Lib. Tidak lupa ucapan terima kasih ditujukan pula kepada staf sekretariat yang terdiri dari; H. Zarkasi, M.A.; H. Deni Hudaeny AA, M.A.; Nur Mustajabah, S.Sos.; Jonni Syatri, M.A.; Muhammad Musadad, S.Th.I; dan Muhammad Fatichuddin, S.S.I.

Akhirnya, kami berharap kiranya kerja sama yang telah dimulai sejak tahun 2005 ini dapat berkembang lebih baik, memenuhi harapan umat Islam di Indonesia khususnya dalam upaya meningkatkan peran pengembangan sains dan teknologi. Semoga usaha mulia ini mendapat ganjaran dari Allah, dan dicatat sebagai amal saleh. *Āmīn yā rabbal-'ālamīn.*

Jakarta, Juli 2013

LEMBAGA ILMU PENGETAHUAN INDONESIA

Prof. Dr. Lukman Hakim

MEMAHAMI ISYARAT-ISYARAT ILMIAH AL-QUR'AN; SEBUAH PENGANTAR

Al-Qur'an, kitab suci yang berisikan ayat-ayat *tanzīliyah*, mempunyai fungsi utama sebagai petunjuk bagi seluruh umat manusia baik dalam hubungannya dengan Tuhan, manusia, maupun alam raya. Dengan begitu, yang dipaparkan Al-Qur'an tidak hanya masalah-masalah kepercayaan (akidah), hukum, ataupun pesan-pesan moral, tetapi juga di dalamnya terdapat petunjuk memahami rahasia-rahasia alam raya. Di samping itu, ia juga berfungsi untuk membuktikan kebenaran Nabi Muhammad. Dalam beberapa kesempatan, Al-Qur'an menantang siapa pun yang meragukannya untuk menyusun dan mendatangkan "semacam" Al-Qur'an secara keseluruhan (aṭ-Ṭūr/52: 35), atau sepuluh surah yang semacamnya (Hūd/11: 13), atau satu surah saja (Yūnus/10: 38), atau sesuatu yang "seperti", atau kurang lebih, "sama" dengan satu surah darinya (al-Baqarah/2: 23). Dari sini muncul usaha-usaha untuk memperlihatkan berbagai dimensi Al-Qur'an yang dapat menaklukkan siapa pun yang meragukannya, sehingga kebenaran bahwa ia bukan tutur kata manusia menjadi tak terbantahkan. Inilah yang disebut *i'jāz*. Karena berwujud teks bahasa yang baru dapat bermakna setelah dipahami, usaha-usaha dalam memahami dan menemukan rahasia Al-Qur'an menjadi bervariasi sesuai dengan latar belakang yang memahaminya. Setiap orang dapat menangkap pesan dan kesan yang berbeda dari lainnya. Seorang pakar bahasa akan mempunyai kesan yang berbeda dengan yang ditangkap oleh seorang ilmuwan. Demikian Al-Qur'an menyuguhkan hidangannya untuk dinikmati

dan disantap oleh semua orang di sepanjang zaman.

A. AL-QUR'AN DAN ILMU PENGETAHUAN

Berbicara tentang Al-Qur'an dan ilmu pengetahuan, kita sering dihadapkan pada pertanyaan klasik: adakah kesesuaian antara keduanya atau sebaliknya, bertentangan? Untuk menjawab pertanyaan ini ada baiknya dicermati bersama ungkapan seorang ilmuwan modern, Einstein, berikut, "Tiada ketenangan dan keindahan yang dapat dirasakan hati melebihi saat-saat ketika memperhatikan keindahan rahasia alam raya. Sekalipun rahasia itu tidak terungkap, tetapi di balik itu ada rahasia yang dirasa lebih indah lagi, melebihi segalanya, dan jauh di atas bayang-bayang akal kita. Menemukan rahasia dan merasakan keindahan ini tidak lain adalah esensi dari bentuk penghambaan."

Dari kutipan ini, agaknya Einstein ingin menunjukkan bahwa ilmu yang sejati adalah yang dapat mengantarkan kepada kepuasan dan kebahagiaan jiwa dengan bertemu dan merasakan kehadiran Sang Pencipta melalui wujud alam raya. Memang, dengan mengamati sejarah ilmu dan agama, ditemukan beberapa kesesuaian antara keduanya, antara lain dari segi tujuan, sumber, dan cara mencapai tujuan tersebut. Bahkan, keduanya telah mulai beriringan sejak penciptaan manusia pertama. Beberapa studi menunjukkan bahwa hakikat keberagamaan muncul dalam jiwa manusia sejak ia mulai bertanya tentang hakikat penciptaan (al-Baqarah/2: 30-38).[1]

Lantas mengapa sejarah agama dan ilmu pengetahuan diwarnai dengan pertentangan? Diakui, di samping memiliki kesamaan, agama dan ilmu pengetahuan juga mempunyai objek dan wilayah yang berbeda. Agama (Al-Qur'an) mengajarkan bahwa selain alam materi (fisik) yang menuntut manusia melakukan eksperimen, objek ilmu juga mencakup realitas lain di luar jangkauan panca indera (metafisik) yang tidak dapat diobservasi dan diuji coba. Allah berfirman, *"Maka Aku bersumpah demi apa yang dapat kamu lihat dan demi apa yang tidak kamu lihat."* (al-Ḥāqqah/69: 38). Untuk yang bersifat empiris, memang dibuka ruang untuk menguji dan mencoba (al-'Ankabūt/29: 20). Namun demikian, seorang ilmuwan tidak diperkenankan mengatasnamakan ilmu untuk menolak "apa-apa" yang non-empiris (metafisik), sebab di wilayah ini Al-Qur'an telah menyatakan keterbatasan ilmu manusia (al-Isrā'/17: 85) sehingga diper-

1. 'Abdur-Razzāq Naufal, *Baina ad-Dīn wa al-'Ilm*, h. 42; A. Karīm Khaṭīb, *Allāh Żātan wa Maudū'an*, h. 6.

lukan keimanan. Kerancuan terjadi manakala ilmuwan dan agamawan tidak memahami objek dan wilayahnya masing-masing.

Kalau saja pertikaian antara ilmuwan dan agamawan di Eropa pada abad pertengahan (sampai abad ke-18) tidak merebak ke dunia Islam, mungkin umat Islam tidak akan mengenal pertentangan antara agama dan ilmu pengetahuan. Perbedaan memang tidak seharusnya membawa kepada pertentangan dan perpecahan. Keduanya bisa saling membantu untuk mencapai tujuan. Bahkan, keilmuan yang matang justru akan membawa kepada sikap keberagamaan yang tinggi (Fāṭir/35: 27).

Sejarah cukup menjadi saksi bahwa ahli-ahli falak, kedokteran, ilmu pasti dan lain-lain telah mencapai hasil yang mengagumkan di masa kejayaan Islam. Di saat yang sama mereka menjalankan kewajiban agama dengan baik, bahkan juga ahli di bidang agama. Maka amatlah tepat apa yang dikemukakan Maurice Bucaille, seorang ilmuwan Perancis terkemuka, dalam bukunya *Al-Qur'an, Bibel, dan Sains Modern,* bahwa tidak ada satu ayat pun dalam Al-Qur'an yang bertentangan dengan perkembangan ilmu pengetahuan. Inilah kiranya yang menyebabkan besarnya perhatian para sarjana untuk mengetahui lebih jauh model penafsiran Al-Qur'an dengan pendekatan ilmu pengetahuan.

B. APA DAN MENGAPA TAFSIR ILMI?

Setiap muslim wajib mempelajari dan memahami Al-Qur'an. Seorang muslim diperintah Al-Qur'an untuk tidak beriman secara membabi-buta *(taqlīd),* tetapi dengan mempergunakan akal pikiran. Al-Qur'an mengajak umat manusia untuk terus berdialog dengannya di sepanjang masa. Semua kalangan dengan segala keragamannya diundang untuk mencicipi hidangannya, hingga wajar jika kesan yang diperoleh pun berbeda-beda. Ada yang terkesan dengan kisah-kisahnya seperti aś-Śa‘labi dan al-Khāzin; ada yang memperhatikan persoalan bahasa dan retorikanya seperti az-Zamakhsyari; atau hukum-hukum seperti al-Qurṭubi. Masing-masing mempunyai kesan yang berbeda sesuai kecenderungan dan suasana yang melingkupinya.

Ketika gelombang Hellenisme masuk ke dunia Islam melalui penerjemahan buku-buku ilmiah pada masa Dinasti ‘Abbasiyah, khususnya pada masa pemerintahan al-Makmūn (w. 853 M), muncullah kecenderungan menafsirkan Al-Qur'an dengan teori-teori ilmu pengetahuan atau yang kemudian dikenal sebagi tafsir ilmi. *Mafātīḥul-*

Gaib, karya ar-Rāzi, dapat dibilang sebagai tafsir yang pertama memuat secara panjang lebar penafsiran ilmiah terhadap ayat-ayat Al-Qur'an.[2]

Tafsir ilmi adalah sebuah upaya memahami ayat-ayat Al-Qur'an yang mengandung isyarat ilmiah dari perspektif ilmu pengetahuan modern. Menurut Ḥusain aż-Żahabi, tafsir ini membahas istilah-istilah ilmu pengetahuan dalam penuturan ayat-ayat Al-Qur'an, serta berusaha menggali dimensi keilmuan dan menyingkap rahasia kemukjizatannya terkait informasi-informasi sains yang mungkin belum dikenal manusia pada masa turunnya sehingga menjadi bukti kebenaran bahwa Al-Qur'an bukan karangan manusia, namun wahyu Sang Pencipta dan Pemilik alam raya.

Di era modern tafsir ilmi semakin populer dan meluas. Fenomena ini setidaknya dipengaruhi oleh beberapa faktor berikut.

Pertama, pengaruh kemajuan teknologi dan ilmu pengetahuan Barat (Eropa) terhadap dunia Arab dan kawasan muslim, terlebih pada paruh kedua abad 19 ketika sebagian besar dunia Islam berada di bawah kekuasaan Eropa. Hegemoni Eropa atas kawasan Arab dan muslim ini hanya dimungkinkan oleh superioritas teknologi. Bagi seorang muslim, membaca tafsir Al-Qur'an bahwa persenjataan dan teknik-teknik asing yang memungkinkan orang-orang Eropa menguasai umat Islam sebenarnya telah disebut dan diramalkan di dalam Al-Qur'an, bisa menjadi pelipur lara.[3] Inilah yang diungkapkan M. Quraish Shihab sebagai kompensasi perasaan *inferiority complex* (perasaan rendah diri).[4] Lebih lanjut Quraish menulis, "Tidak dapat diingkari bahwa mengingat kejayaan lama merupakan obat bius yang dapat meredakan sakit, meredakan untuk sementara, tetapi bukan menyembuhkannya."[5]

Kedua, munculnya kesadaran untuk membangun rumah baru bagi peradaban Islam setelah mengalami dualisme budaya yang tecermin pada sikap dan pemikiran. Dualisme ini melahirkan sikap kontradiktif antara mengenang kejayaan masa lalu dan keinginan memperbaiki diri, dengan kekaguman terhadap peradaban Barat yang hanya dapat diambil sisi materinya saja. Yang terjadi kemudian di kawasan muslim adalah budaya "berhati Islam, tetapi berbaju Barat".

2. Sedemikian banyaknya persoalan ilmiah dan logika yang disinggung, Ibnu Taimiyah berkata, "Di dalamnya terdapat apa saja, kecuali tafsir;" sebuah penilaian dari pengikut setia Aḥmad bin Ḥanbal terhadap ar-Rāzi yang diketahui sangat intens dalam mendebat kelompok tersebut. Berbeda dari Ibnu Taimiyah, Tājuddīn as-Subuki berkomentar, "Di dalamnya terdapat segala sesuatu, plus tafsir". Lihat: Fatḥullāh Khalīf, *Fakhruddīn ar-Rāzi*, h. 13.

3. Jansen, *Diskursus Tafsir Al-Qur'an Modern,* h. 67.
4. M. Quraish Shihab, *Membumikan Al-Qur'an,* h. 53.
5. M. Quraish Shihab, *Membumikan Al-Qur'an,* h. 53.

Tafsir ilmi pada hakikatnya ingin membangun kesatuan budaya melalui pola hubungan harmonis antara Al-Qur'an dan pengetahuan modern yang menjadi simbol peradaban Barat.[6] Di saat yang sama, para penggagas tafsir ini ingin menunjukkan pada masyarakat dunia bahwa Islam tidak mengenal pertentangan antara agama dan ilmu pengetahuan seperti yang terjadi di Eropa pada Abad Pertengahan yang mengakibatkan para ilmuwan menjadi korban hasil penemuannya.

Ketiga, perubahan cara pandang muslim modern terhadap ayat-ayat Al-Qur'an, terutama dengan munculnya penemuan-penemuan ilmiah modern pada abad ke-20. Memang Al-Qur'an mampu berdialog dengan siapa pun dan kapan pun. Ungkapannya singkat tapi padat, dan membuka ragam penafsiran. Misalnya, kata *lamūsi'ūn* pada Surah aż-Żāriyāt/51: 47, *"Dan langit itu Kami bangun dengan kekuasaan (Kami), dan sesungguhnya Kami benar-benar meluaskan(nya)"*, dalam karya-karya tafsir klasik ada yang menafsirkannya dengan "meluaskan rezeki semua makhluk dengan perantara hujan"; ada yang mengartikan "berkemampuan menciptakan lebih dari itu"; dan ada pula yang mengartikan "meluaskan jarak antara langit dan bumi".[7] Penafsiran ini didasari atas pandangan kasat mata dalam suasana yang sangat terbatas dalam bidang ilmu pengetahuan. Boleh jadi semuanya benar. Seiring ditemukannya penemuan ilmiah baru, seorang muslim modern melihat ada tafsiran yang lebih jauh dari sekadar yang dikemukakan para pendahulu. Dari hasil penelitian luar angkasa, para ahli menyimpulkan sebuah teori yang dapat dikatakan sebagai hakikat ilmiah, yaitu *nebula* yang berada di luar galaksi tempat kita tinggal terus menjauh dengan kecepatan yang berbeda-beda, bahkan benda-benda langit yang ada dalam satu galaksi pun saling menjauh satu dengan lainnya, dan ini terus berlanjut sampai dengan waktu yang ditentukan oleh Sang Mahakuasa.[8]

Keempat, tumbuhnya kesadaran bahwa memahami Al-Qur'an dengan pendekatan sains modern bisa menjadi sebuah "Ilmu Kalam Baru". Bila dulu ajaran Al-Qur'an diperkenalkan dengan pendekatan logika/filsafat sehingga menghasilkan ratusan bahkan ribuan karya ilmu kalam, sudah saatnya pendekatan ilmiah/ saintifik menjadi alternatif. Di dalam Al-Qur'an terdapat kurang lebih 750–1000 ayat kauniyah, sementara ayat-ayat hu-

6. M. Effat Syarqāwi, *Qaḍāyā Insāniyyah fī A'māl al-Mufassirīn,* h. 88.

7. Lihat misalnya: aṭ-Ṭabarsī, *Tafsīr Majma' al-Bayān,* 9/203.

8. Kementerian Wakaf Mesir, *Tafsīr al-Muntakhab,* h. 774.

kum hanya sekitar 250 ayat.[9] Lalu mengapa kita mewarisi ribuan buku fikih, sementara buku-buku ilmiah hanya beberapa gelintir saja, padahal Tuhan tidak pernah membedakan perintah-Nya untuk memahami ayat-ayat Al-Qur'an. Kalaulah ayat-ayat hukum, muamalat, akhlak dan akidah merupakan petunjuk bagi manusia untuk mengenal dan mencontoh perilaku Tuhan, bukankah ayat-ayat ilmiah juga petunjuk akan keagungan dan kekuasaaan Tuhan di alam raya ini?

C. PRO-KONTRA TAFSIR ILMI

Model tafsir ilmi sudah lama diperdebatkan para ulama, mulai dari ulama klasik sampai ahli-ahli keislaman di abad modern. Al-Gazāli, ar-Rāzi, al-Mursi, dan as-Suyūṭi dapat dikelompokkan sebagai ulama yang mendukung tafsir ini. Berseberangan dengan mereka, asy-Syāṭibi menentang keras penafsiran model seperti ini. Dalam barisan tokoh-tokoh modern, para pendukung tafsir ini di antaranya Muḥammad 'Abduh, Ṭanṭāwi Jauhari, Ḥanafi Aḥmad, berseberangan dengan tokoh-tokoh seperti Maḥmūd Syaltūt, Amīn al-Khūli, dan 'Abbās 'Aqqād.

Mereka yang berkeberatan dengan model tafsir ilmi berargumentasi antara lain dengan melihat:

9. Wawancara Zaglūl an-Najjār dengan Majalah Tasawuf Mesir, Edisi Mei 2001.

1. *Kerapuhan filologisnya*

Al-Qur'an diturunkan kepada bangsa Arab dalam bahasa ibu mereka, karenanya ia tidak memuat sesuatu yang mereka tidak mampu memahaminya. Para sahabat tentu lebih mengetahui Al-Qur'an dan apa yang tercantum di dalamnya, tetapi tidak seorang pun di antara mereka menyatakan bahwa Al-Qur'an mencakup seluruh cabang ilmu pengetahuan.

2. *Kerapuhannya secara teologis*

Al-Qur'an diturunkan sebagai petunjuk yang membawa pesan etis dan keagamaan; hukum, akhlak, muamalat, dan akidah. Ia berkaitan dengan pandangan manusia mengenai hidup, bukan dengan teori-teori ilmiah. Ia buku petunjuk dan bukan buku ilmu pengetahuan. Adapun isyarat-isyarat ilmiah yang terkandung di dalamnya dikemukakan dalam konteks petunjuk, bukan menjelaskan teori-teori baru.

3. *Kerapuhannya secara logika*

Di antara ciri ilmu pengetahuan adalah bahwa ia tidak mengenal kata "kekal". Apa yang dikatakan sebagai *natural law* tidak lain hanyalah sekumpulan teori dan hipotesis yang sewaktu-waktu bisa berubah. Apa yang dianggap salah di masa silam, misalnya, boleh jadi diakui kebenarannya di abad modern. Ini menunjukkan bahwa produk-pro-

duk ilmu pengetahuan pada hakikatnya relatif dan subjektif. Jika demikian, patutkah seseorang menafsirkan yang kekal dan absolut dengan sesuatu yang tidak kekal dan relatif? Relakah kita mengubah arti ayat-ayat Al-Qur'an sesuai dengan perubahan atau teori ilmiah yang tidak atau belum mapan itu?[10]

Ketiga argumentasi di atas agaknya yang paling populer dikemukakan untuk menolak tafsir ilmi. Pengantar ini tidak ingin mendiskusikannya dengan menghadapkannya kepada argumentasi kelompok yang mendukung. Kedua belah pihak boleh jadi sama benarnya. Karenanya, tidak produktif jika terus mengkonfrontasikan keduanya. Yang dibutuhkan adalah formula kompromistik untuk lebih mengembangkan misi dakwah Islam di tengah kemajuan ilmu pengetahuan.

Diakui bahwa ilmu pengetahuan itu relatif; yang sekarang benar, bisa jadi besok salah. Tetapi, bukankah itu ciri dari semua hasil budi daya manusia, sehingga di dunia tidak ada yang absolut kecuali Tuhan? Ini bisa dipahami karena hasil pikiran manusia yang berupa *acquired knowledge* (ilmu yang dicari) juga mempunyai sifat atau ciri akumulatif. Ini berarti dari masa ke masa ilmu akan saling melengkapi sehingga ia akan selalu berubah. Di sini manusia diminta untuk selalu berijtihad dalam rangka menemukan kebenaran. Apa yang telah dilakukan para ahli hukum (fukaha), teologi, dan etika di masa silam dalam memahami ayat-ayat Al-Qur'an merupakan ijtihad baik, sama halnya dengan usaha memahami isyarat-isyarat ilmiah dengan penemuan modern. Yang diperlukan adalah kehati-hatian dan kerendahan hati. Tafsir, apa pun bentuknya, hanyalah sebuah upaya manusia yang terbatas untuk memahami maksud kalam Tuhan yang tidak terbatas. Kekeliruan dalam penafsiran sangat mungkin terjadi, dan tidak akan mengurangi kesucian Al-Qur'an. Kendatipun, kekeliruan dapat diminimalkan atau dihindari dengan memperhatikan kaidah-kaidah yang ditetapkan para ulama.

D. PRINSIP DASAR DALAM PENYUSUNAN TAFSIR ILMI

Dalam upaya menjaga kesucian Al-Qur'an para ulama merumuskan beberapa prinsip dasar yang sepatutnya diperhatikan dalam menyusun sebuah tafsir ilmi, antara lain:[11]

1. Memperhatikan arti dan kaidah-kaidah kebahasaan. Tidak sepatutnya

10. Asy-Syāṭibī, *al-Muwāfaqāt*, 2/46; Amīn al-Khūli, *Manāhij Tajdīd*, h. 219.

11. Poin-poin prinsip ini disimpulkan dari ketetapan Lembaga Pengembangan I'jāz Al-Qur'an dan Sunah, Rābiṭah 'Ālam Islāmi di Mekah dan lembaga serupa di Mesir (Lihat wawancara Zaglūl dalam Majalah Tasawuf Mesir Edisi Mei 2001 dan *al-Kaun wa al-I'jāz al-'Ilmī fī al-Qur'ān* karya Manṣūr Ḥasab an-Nabi, Ketua Lembaga I'jāz Mesir)

kata "*ṭayran*" dalam Surah al-Fīl/105: 3, "*Dan Dia turunkan kepada mereka Burung Ababil*" ditafsirkan sebagai kuman seperti dikemukakan oleh Muḥammad 'Abduh dalam *Tafsīr Juz 'Amma*-nya. Secara bahasa itu tidak dimungkinkan, dan maknanya menjadi tidak tepat, sebab akan bermakna, "dan Dia mengirimkan kepada mereka kuman-kuman yang melempari mereka dengan batu ......".

2. Memperhatikan konteks ayat yang ditafsirkan, sebab ayat-ayat dan surah Al-Qur'an, bahkan kata dan kalimatnya, saling berkorelasi. Memahami ayat-ayat Al-Qur'an harus dilakukan secara komprehensif, tidak parsial.
3. Memperhatikan hasil-hasil penafsiran dari Rasulullah *ṣalallāhu 'alaihi wa sallam* selaku pemegang otoritas tertinggi, para sahabat, tabiin, dan para ulama tafsir, terutama yang menyangkut ayat yang akan dipahaminya. Selain itu, penting juga memahami ilmu-ilmu Al-Qur'an lainnya seperti *nāsikh-mansūkh, asbābun-nuzūl,* dan sebagainya.
4. Tidak menggunakan ayat-ayat yang mengandung isyarat ilmiah untuk menghukumi benar atau salahnya sebuah hasil penemuan ilmiah. Al-Qur'an mempunyai fungsi yang jauh lebih besar dari sekadar membenarkan atau menyalahkan teori-teori ilmiah.
5. Memperhatikan kemungkinan satu kata atau ungkapan mengandung sekian makna, kendatipun kemungkinan makna itu sedikit jauh (lemah), seperti dikemukakan pakar bahasa Arab, Ibnu Jinni, dalam *al-Khaṣā'iṣ* (2/488). Al-Gamrāwi, seorang pakar tafsir ilmiah Al-Qur'an Mesir, mengatakan, "Penafsiran Al-Qur'an hendaknya tidak terpaku pada satu makna. Selama ungkapan itu mengandung berbagai kemungkinan dan dibenarkan secara bahasa, maka boleh jadi itulah yang dimaksud Tuhan".[12]
6. Untuk bisa memahami isyarat-isyarat ilmiah hendaknya memahami betul segala sesuatu yang menyangkut objek bahasan ayat, termasuk penemuan-penemuan ilmiah yang berkaitan dengannya. M. Quraish Shihab mengatakan, "...sebab-sebab kekeliruan dalam memahami atau menafsirkan ayat-ayat Al-Qur'an antara lain adalah kelemahan dalam bidang bahasa serta kedangkalan pengetahuan menyangkut objek bahasan ayat".
7. Sebagian ulama menyarankan agar tidak menggunakan penemuan-penemuan ilmiah yang masih bersifat teori dan hipotesis, sehingga dapat

12. *Al-Islām fī 'Aṣr al-'Ilm*, h. 294.

berubah. Itu karena teori tidak lain adalah hasil sebuah "pukul rata" terhadap gejala alam yang terjadi. Begitu pula hipotesis, masih dalam taraf uji coba kebenarannya. Yang digunakan hanyalah yang telah mencapai tingkat hakikat kebenaran ilmiah yang tidak bisa ditolak lagi oleh akal manusia. Sebagian lain mengatakan, sebagai sebuah penafsiran yang dilakukan berdasar kemampuan manusia, teori dan hipotesis bisa saja digunakan di dalamnya, tetapi dengan keyakinan kebenaran Al-Qur'an bersifat mutlak, sedangkan penafsiran itu relatif, bisa benar dan bisa salah.

Penyusunan Tafsir Ilmi dilakukan melalui serangkaian kajian yang dilakukan secara kolektif dengan melibatkan para ulama dan ilmuwan, baik dari Lajnah Pentashihan Mushaf Al-Qur'an, LIPI, LAPAN, Observatorium Bosscha, dan beberapa perguruan tinggi. Para ulama, akademisi, dan peneliti yang terlibat dibagi dalam dua tim: Syar'i dan Kauni. Tim Syar'i bertugas melakukan kajian dalam perspektif ilmu-ilmu keislaman dan bahasa Arab, sedang Tim Kauni melakukan kajian dalam perspektif ilmu pengetahuan.

Kajian tafsir ilmi tidak dalam kerangka menjustifikasi kebenaran temuan ilmiah dengan ayat-ayat Al-Qur'an, juga tidak untuk memaksakan penafsiran ayat-ayat Al-Qur'an hingga seolah-olah berkesesuaian dengan temuan ilmu pengetahuan. Kajian tafsir ilmi berangkat dari kesadaran bahwa Al-Qur'an bersifat mutlak, sedang penafsirannya, baik dalam perspektif tafsir maupun ilmu pengetahuan, bersifat relatif.

Akhirnya, segala upaya manusia tidak lain hanyalah setitik jalan untuk menemukan kebenaran yang absolut. Untuk itu, segala bentuk kerja sama yang baik sangat diperlukan, terutama antara ahli-ahli di bidang ilmu pengetahuan dan para ahli di bidang agama, dalam mewujudkan pemahaman Al-Qur'an yang baik.[]

Jakarta, Juli 2013

Dr. H. Muchlis M. Hanafi, MA
NIP. 19710818 200003 1 001

DAFTAR ISI

BAB I
PENDAHULUAN__1

BAB II
PENCIPTAAN SAMUDRA__5

A. Awal Kejadian Samudra__5
B. *Pangea* yang Terpecah__11
C. Laut Mati dan Laut Merah__13
D. Paparan Sunda dan Paparan Sahul__15
E. Selat Sunda, Selat Makassar, dan Laut Banda__18

BAB III
PERAN LAUT UNTUK KEHIDUPAN BUMI__23

A. Awal Kehidupan Dimulai dari Laut__25
B. Sumber Utama Daur Air__25
C. Pengatur Iklim Global__27
   1. El Niño__27
   2. La Niña__30
   3. *Indian Ocean Dipole*__32
   4. Sirkulasi *Thermohalin-Conveyor Belt*__34

BAB IV
LAUT SEBAGAI TANDA KEMAHAKUASAAN ALLAH__37

A. Batas Dua Laut__39
B. Ombak di Atas Ombak__43
C. Api di Bawah Dasar Laut__46
D. Laut Berlapis-lapis__49

BAB V
LAUT SEBAGAI RAHMAT ALLAH__53

A. Laut sebagai Sumber Penghidupan Manusia__58
B. Laut sebagai Sarana Transportasi__69
   1. Air Laut Bersifat Kohesif__69
   2. Indonesia Negara Maritim__74
   3. Perkembangan Teknologi Transportasi di Abad Kemajuan Iptek__76
C. Laut sebagai Sumber Energi__79
   1. Energi Gelombang__81
   2. Energi Panas Laut__85
   3. Energi Pasang Surut__87
   4. Energi Arus Laut__89
   5. Energi Bahan Bakar Nabati atau Biofuel dari Rumput Laut__91

BAB VI
BENCANA KELAUTAN__95

A. Laut sebagai Potensi Bencana__95
B. Gelombang Badai__99
C. Tsunami__102
D. Erosi Pantai dan Pencemaran__107
   1. Erosi Pantai__107
   2. Pencemaran Laut__109
E. Bencana Iklim__115
   1. Kekeringan__115
   2. Banjir__117

BAB VII
PENUTUP__121

DAFTAR PUSTAKA__125

INDEKS__131

BAB I
PENDAHULUAN

Al-Qur'an berulang kali menyebutkan dan mengenalkan laut, samudra, pantai, muara, dan berbagai hal yang terkait dengan laut. Adalah suatu hal menakjubkan bahwa Al-Qur'an berbicara banyak tentang laut padahal kitab suci ini diturunkan di wilayah padang pasir, bahkan tidak ada satu pun riwayat yang menyatakan adanya ayat yang diturunkan di tengah samudra. Walau demikian, Al-Qur'an begitu jelas menerangkan keterkaitan antara kehidupan manusia dengan eksistensi laut. Hal ini menunjukkan betapa pentingnya laut dalam kehidupan manusia. Bukan sekadar menunjukkan kekuasaan Allah, namun laut memberikan manfaat yang luar biasa bagi kehidupan manusia, mulai dari fungsi prasarana transportasi, penyediaan sumber protein, sumber energi, hingga aneka komoditas yang bisa diperoleh dari laut.

Dalam Al-Qur'an terdapat dua term yang dimaknai sebagai laut: *al-yamm* dan *al-baḥr*. Kata *al-yamm* terdapat pada tujuh tempat, masing-masing pada Surah al-A‘rāf/7: 136, Ṭāḥā/20: 39, 78, dan 97; al-Qaṣaṣ/28: 7 dan 40; dan aż-Żāriyāt/51: 40.

Pada Surah aż-Żāriyāt/51: 40 Allah berfirman,

Maka Kami siksa dia (Firaun) beserta bala tentaranya, lalu Kami lemparkan mereka ke dalam laut, dalam keadaan tercela. (aż-Żāriyāt/51: 40)

Dalam pemakaiannya terdapat banyak pendapat tentang makna kata *al-yamm*. Sebagian menyatakan kata ini sinonim dari *al-baḥr* (laut), sedangkan yang lain mengartikannya sebagai gelombang laut. Ia merupakan bentuk tunggal dan tidak pernah didualkan (*muśannā*) maupun dijamakkan. Kata (*y-m-m*) berasal dari bahasa Suryani yang diarabkan untuk mengungkapkan wilayah air asin (laut) atau sungai yang sangat lebar (semacam muara). Dari ketujuh ayat Al-Qur'an yang berbicara tentang *al-yamm*, semuanya berkaitan dengan kisah Musa dan Firaun. Meskipun dalam Bahasa Indonesia kata ini diartikan sama dengan kata *al-baḥr*, yaitu laut, tampaknya *al-yamm* lebih tepat diartikan sebagai sungai yang sangat lebar yang hampir menyerupai laut. Hal ini didasarkan pada kisah ibu Musa yang menghanyutkan bayinya (Musa) sebagai upaya penyelamatan dari usaha pembunuhan oleh Firaun, sebagaimana tergambar dalam Surah Al-Qaṣaṣ/28: 7 dan Ṭāhā/20: 38–39. Oleh karenanya, term *al-yamm* tidak menjadi pembahasan dalam tulisan ini meskipun sebagian ahli bahasa memaknainya sebagai laut luas dengan air asin yang ada di dalamnya.

Term *al-baḥr* dijumpai dalam 38 ayat. Adalah sangat menarik bahwa kata ini ditampilkan dalam tiga bentuk: tunggal (*mufrad*), dual (*muśannā*), dan jamak. Dalam bentuk *muśannā* (*al-baḥrān*, *al-baḥraīn*) kata ini misalnya disebut dalam Surah al-Furqān/25: 53, al-Kahf/18: 60, an-Naml/27: 61, ar-Raḥmān/55: 19, sementara dalam bentuk jamak (*abḥur*) dijumpai pada Surah Luqmān/31: 27. Kata *al-baḥr* umumnya diungkapkan untuk menunjukkan sejumlah besar kumpulan air asin atau sedikit tawar. Disebut demikian (kata dasar *b-ḥ-r*) karena luas dan dalamnya air yang terdapat di dalamnya, dan kadang-kadang tingkat keasinannya menurun sehingga mendekati sifat tawar (*al-'azb*) atau payau (Ibnu Manẓūr: 4/41).

Perbincangan Al-Qur'an tentang *al-baḥr* seluas samudra itu sendiri, dalam artian tidak sekadar menyadarkan manusia tentang fungsi dan kegunaannya, tetapi sampai pada pelibatan perasaan yang dalam tentang kekuasaan Allah yang telah menciptakan semua itu. Manusia disadarkan bagaimana samudra luas terbentang, menyimpan aneka biota laut dengan volume air yang tak mungkin diketahui secara pasti, dan ditundukkan (*taskhīr*) agar mudah dilayari untuk mengantar manusia dari satu tempat ke tempat lain. Fenomena samudra sering dijadikan Al-Qur'an untuk menyadarkan manusia akan keterbatasannya sebagai hamba, dan karenanya ia mau mengagungkan Allah Sang Pencipta.

Perumpamaan akan tak terbatasnya firman Allah digambarkan dengan melebur volume air samudra tujuh kali atau lebih untuk dijadikan tinta, dan dedaunan seluruhnya dijadikan kertas, yang semua itu tidak akan mampu menuliskan firman-Nya. Mari kita perhatikan firman Allah dalam Surah al-Kahf/18: 109 (lihat juga Surah Luqmān/31: 28).

قُلْ لَّوْ كَانَ الْبَحْرُ مِدَادًا لِّكَلِمٰتِ رَبِّيْ لَنَفِدَ الْبَحْرُ قَبْلَ اَنْ تَنْفَدَ كَلِمٰتُ رَبِّيْ وَلَوْ جِئْنَا بِمِثْلِهٖ مَدَدًا

Katakanlah (Muhammad), "Seandainya lautan menjadi tinta untuk (menulis) kalimat-kalimat Tuhanku, maka pasti habislah lautan itu sebelum selesai (penulisan) kalimat-kalimat Tuhanku, meskipun Kami datangkan tambahan sebanyak itu (pula)." (al-Kahf/18: 109)

Lautan luas atau samudra yang menjadi bagian dari kehidupan kita di planet ini merupakan wilayah yang sangat luas, melebihi luas daratan yang ada. Air laut menutup lebih dari 70% permukaan bumi. Kedalaman rata-rata laut sekitar 3.800 m, jauh berbeda dari ketinggian rata-rata daratan yang hanya 840 m. Ruang kehidupan yang tersedia di lautan 300 kali lebih banyak dibandingkan dengan daratan dan udara (Hedgpeth, 2006: 3/131).

Selain sebagai salah satu alat bersuci, peran lautan begitu krusial bagi keberlangsungan kehidupan di bumi. Laut menjadi penyangga ekosistem, produsen rantai makanan bagi makhluk hidup, dan menjadi sumber penghasilan bagi aneka profesi.

Sampai saat ini misteri kehidupan di bawah permukaan laut masih banyak yang belum tersingkap oleh pengetahuan dan nalar manusia. Wajar saja apabila Allah mengulang-ulang pertanyaan kepada manusia yang tidak menyukuri nikmat Allah Yang Mahakasih,

فَبِاَيِّ اٰلَاۤءِ رَبِّكُمَا تُكَذِّبٰنِ ﴿١٨﴾ مَرَجَ الْبَحْرَيْنِ يَلْتَقِيٰنِۙ ﴿١٩﴾ بَيْنَهُمَا بَرْزَخٌ لَّا يَبْغِيٰنِۚ ﴿٢٠﴾ فَبِاَيِّ اٰلَاۤءِ رَبِّكُمَا تُكَذِّبٰنِ ﴿٢١﴾ يَخْرُجُ مِنْهُمَا اللُّؤْلُؤُ وَالْمَرْجَانُۚ ﴿٢٢﴾ فَبِاَيِّ اٰلَاۤءِ رَبِّكُمَا تُكَذِّبٰنِ ﴿٢٣﴾ وَلَهُ الْجَوَارِ الْمُنْشَاٰتُ فِى الْبَحْرِ كَالْاَعْلَامِۚ ﴿٢٤﴾ فَبِاَيِّ اٰلَاۤءِ رَبِّكُمَا تُكَذِّبٰنِ ﴿٢٥﴾

Maka nikmat Tuhanmu yang manakah yang kamu dustakan? Dia membiarkan dua laut mengalir yang (kemudian) keduanya bertemu, di antara keduanya ada batas yang tidak dilampaui oleh masing-masing. Maka nikmat Tuhanmu yang manakah yang kamu dustakan? Dari keduanya keluar mutiara dan marjan. Maka nikmat Tuhanmu yang manakah yang kamu dustakan? Milik-Nyalah kapal-kapal yang berlayar di lautan bagaikan gunung-gunung. Maka nikmat Tuhanmu yang manakah yang kamu dustakan?" (ar-Raḥmān/55: 18–25)

Manusia sangat membutuhkan keberadaan samudra. Kekayaan yang terkandung di dalamnya merupakan kekayaan bersama yang dapat

dieksplorasi dan dieksploitasi untuk kepentingan umat manusia dari generasi ke generasi, sehingga tidak dibenarkan untuk melakukan segala tindakan yang dapat merusak kelestariannya. Bencana besar akan datang manakala manusia tidak mampu melakukan harmonisasi dengan alam, termasuk dengan laut yang menyimpan berbagai keperluan dan mata rantai makanan bagi banyak makhluk. Keberadaannya menjadi salah satu jaminan kehidupan di bumi.

Laut dan samudra merupakan keajaiban dalam kehidupan makhluk di muka bumi ini. Airnya tidak pernah beristirahat sekejap pun, terus-menerus melakukan gerakan dalam bentuk gelombang di permukaan maupun di bawah permukaan. Kadangkala gelombang itu membentuk berbagai pola beraturan, namun pada saat yang berbeda gerak itu tampak sama sekali tidak teratur. Adalah menarik bahwa partikel air tidak bergerak mengikuti gelombang, tetapi bergerak dalam lintasan berbentuk lingkaran atau elips. Sementara di dasar laut partikel air bergerak maju dan mundur tiada henti (Munk, 2006).

Karena fungsi laut dan samudra yang begitu besar, manusia harus menjaga dan memanfaatkan sebaik-baiknya sumber-sumber daya di dalamnya sehingga tercipta harmonisasi kehidupan manusia dengan alam lingkungannya. Manusia boleh memanfaatkan apa yang ada di bumi sepanjang tidak merusak atau menghancurkan harmonisasi alam yang dihuni bersama makhluk-makhluk Allah yang lain, sehingga kelestariannya terjaga untuk seterusnya dimanfaatkan oleh generasi berikutnya. Kegagalan manusia dalam menjaga keseimbangan alam berpotensi mengakibatkan terjadinya kerusakan alam tersebut. Allah berfirman,

ظَهَرَ الْفَسَادُ فِى الْبَرِّ وَالْبَحْرِ بِمَا كَسَبَتْ اَيْدِى النَّاسِ لِيُذِيْقَهُمْ بَعْضَ الَّذِيْ عَمِلُوْا لَعَلَّهُمْ يَرْجِعُوْنَ

Telah tampak kerusakan di darat dan di laut disebabkan karena perbuatan tangan manusia; Allah menghendaki agar mereka merasakan sebagian dari (akibat) perbuatan mereka, agar mereka kembali (ke jalan yang benar). (ar-Rūm/30: 41) []

BAB II
PENCIPTAAN SAMUDRA

A. AWAL KEJADIAN SAMUDRA

Karena laut merupakan bagian penting dari bumi maka terjadinya laut tidak akan lepas dari proses pembentukan bumi. Sampai kini awal mula keberadaan air di bumi masih menjadi pertanyaan dan menjadi bahan perdebatan penting di kalangan ilmuwan. Para ahli ilmu pengetahuan sepakat bahwa terjadinya laut dimulai ketika ada sebagian permukaan bumi yang tertutup oleh genangan air, akan tetapi karena pembentukan bumi melalui sejumlah proses yang kompleks maka kejadian laut pun memiliki tahapan yang dinamis.

Secara umum, terdapat 3 teori yang paling banyak penganutnya tentang asal mula air. *Pertama*, air terpisah dari batuan, sebagai fasa gas yang terpisah dari fasa padat pada proses pembekuan. *Kedua*, pada proses "pengumpulan" (*accretion*) material pembentuk bumi dari awan angkasa luar, air, dan material gas lainnya tergabung belakangan terhadap gumpalan inti, yaitu bumi, dan menempati bagian terluar dari planet yang terbentuk. *Ketiga*, air datang belakangan bersama komet, asteroid, dan benda angkasa lainnya dari angkasa luar, setelah bumi terbentuk.

Air turun dari langit (dalam Bahasa Arab, *as-samā'*, yakni semua yang berada di atas manusia, jauh maupun dekat) dengan kadar tertentu telah dijelaskan dalam banyak ayat Al-Qur'an,

antara lain dalam Surah al-Mu'minūn/23: 18,

وَاَنْزَلْنَا مِنَ السَّمَاۤءِ مَاۤءًۢ بِقَدَرٍ فَاَسْكَنّٰهُ فِى الْاَرْضِۖ وَاِنَّا عَلٰى ذَهَابٍۢ بِهٖ لَقٰدِرُوْنَ

Dan Kami turunkan air dari langit dengan suatu ukuran; lalu Kami jadikan air itu menetap di bumi, dan pasti Kami berkuasa melenyapkannya. (al-Mu'minūn/23: 18)

Wahyu Ilahi menyatakan bahwa semua kehidupan bermula dari air atau benda cair (*liquid*). Hal ini menunjukkan bahwa air telah mendahului makhluk-makhluk biologis di bumi ini. Makhluk-makhluk biologis pun tak dapat dipisahkan dari air. Surah al-Anbiyā'/21: 30 menjelaskan bahwa semua makhluk hidup diciptakan dari air atau benda cair.

اَوَلَمْ يَرَ الَّذِيْنَ كَفَرُوْٓا اَنَّ السَّمٰوٰتِ وَالْاَرْضَ كَانَتَا رَتْقًا فَفَتَقْنٰهُمَاۗ وَجَعَلْنَا مِنَ الْمَاۤءِ كُلَّ شَيْءٍ حَيٍّۗ اَفَلَا يُؤْمِنُوْنَ

Dan apakah orang-orang kafir tidak mengetahui bahwa langit dan bumi keduanya dahulunya menyatu, kemudian Kami pisahkan antara keduanya; dan Kami jadikan segala sesuatu yang hidup berasal dari air; maka mengapa mereka tidak beriman? (al-Anbiyā'/21: 30)

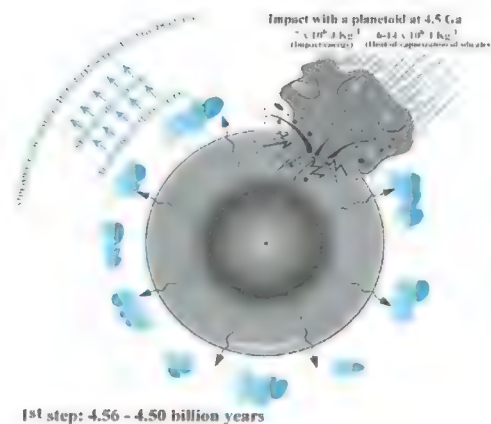
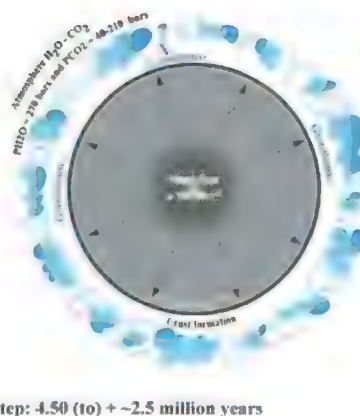
Ayat di atas menunjukkan keterkaitan erat antara proses kejadian bumi dan langit dengan penciptaan makhluk-makhluk hidup dari air. Bumi dan langit pada awalnya menyatu lalu terpisah setelah terjadinya ledakan besar, yang dalam teori ilmu pengetahuan dikenal dengan *big bang*. Sementara itu, air yang merupakan substansi makhluk hidup, sampai saat ini tidak diketahui secara pasti asal muasalnya. Hanya Allah-lah yang mengetahuinya.

Tidak seperti terhadap asal muasal air, terhadap awal terbentuknya laut para ilmuwan (Pinti, 2005) lebih mudah bersepakat. Air sebagai cairan (*liquid*) mulai terdapat di permukaan bumi kira-kira 50 juta tahun setelah masa akhir proses penggumpalan (*accretion*) bahan padat bumi. Beberapa puluh juta tahun kemudian barulah samudra yang terbentuk memiliki lingkungan (suhu, pH, dan salinitas) cukup stabil yang memungkinkan berlangsungnya kehidupan di dalamnya. Hasil penarikhan dengan radio isotop menunjukkan bahwa umur tertua pada sedimen adalah 3,7 miliar tahun, yaitu pada sedimen fosforit di Greenland. Umur ini merupakan suatu acuan untuk merekonstruksi proses terjadinya lautan.

Proses terjadinya laut terbagi menjadi beberapa tahap:

1. *Tahap Pertama*, untuk penganut teori pembentukan air yang pertama.

Pembentukan laut dimulai sejak periode penggumpalan bumi sampai dengan akhir pelepasan gas-gas dari dalam yang terjadi pada 4,45 sampai dengan 4,5 miliar tahun yang lalu (Gambar 2.1). Penentuan masa awal ini didasarkan atas ditemukannya jejak molekul air pada kristal-kristal batuan (*zirkon*) yang terbentuk pada masa itu. Pada akhir masa ini bumi mendapat tumbukan-tumbukan meteorit. Salah satunya berukuran sangat besar (sebesar Planet Mars) yang terjadi pada 4,5 miliar tahun yang lalu. Tumbukan-tumbukan benda angkasa ini menyebabkan permukaan bumi meleleh sampai pada temperatur yang mampu menguapkan silika. Dalam keadaan ini semua molekul air tentunya terdapat sebagai uap yang bersama-sama dengan karbondioksida, mendominasi gas-gas lainnya memenuhi ruang angkasa. Masa-masa ini dikenal sebagai masa samudra atmosferik.

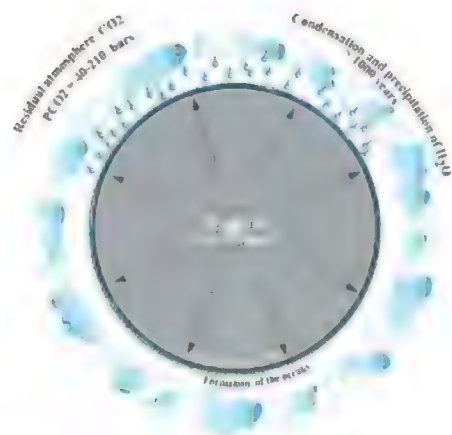
2. *Tahap Kedua*: tahap rumah kaca (Gambar 2.2). Tahapan ini bermula ketika atmosfer dipenuhi oleh air dan karbondioksida menahan panas suhu radiasi matahari di permukaan bumi sehingga permukaan tetap berada dalam keadaan meleleh. Secara berangsur suhu bumi menurun sehingga bagian terluar bumi membeku dan membentuk selapis tipis batuan di permukaan. Hamparan kerak atau kulit bumi ini kemudian menjadi pembatas yang lebih tegas antara atmosfer dan bagian dalam bumi. Bagian ini pun kemudian menjadi isolator sehingga penjalaran radiasi panas dari dalam bumi tertahan, tidak merambat ke atmosfer. Hal ini menyebabkan penurunan suhu atmosfer.

Gambar 2.1
Sketsa yang menggambarkan fase awal pembentukan samudra. *(Sumber: Pinti, 2005)*

Gambar 2.2
Tahap rumah kaca. *(Sumber: Pinti, 2005)*

3. *Tahap Ketiga*: tahap kondensasi (Gambar 2.3). Pendinginan yang cepat di atmosfer memungkinkan terjadinya kondensasi air. Pada tahap ini hujan lebat terus-menerus mengguyur permukaan bumi sehingga menyebabkan banjir besar (*grand deluge*) di seluruh permukaan bumi. Diperkirakan hujan yang begitu deras waktu itu telah membentuk samudra hanya dalam waktu 1.000 tahun saja. Di lain pihak, tingkat penguapan tinggi terjadi pada daerah-daerah tergenang. Siklus hidrologi berjalan sangat cepat di permukaan bumi karena suhu atmosfer masih tinggi pada masa itu. Presipitasi terjadi pada suhu atmosfer 600 °K atau 329 °C. Kondensasi dicapai pada suhu setinggi itu karena tekanan udara juga masih tinggi, diperkirakan sebesar beberapa ratus bar. Samudra primitif ini masih terlalu panas untuk berkembangnya kehidupan.

Hujan yang terjadi menjadi salah satu mekanisme yang menunjang terjadinya kehidupan di bumi. Dalam Surah an-Naḥl/16: 65 dijelaskan bahwa air hujan menjadi salah satu penunjang kehidupan di bumi.

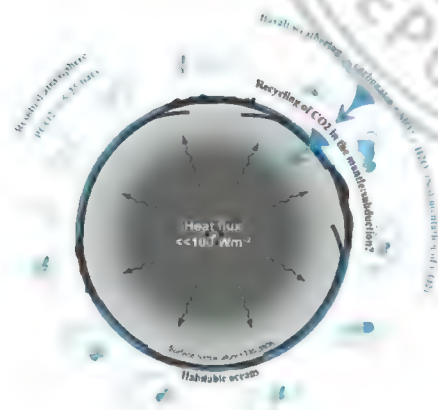
وَاللّٰهُ اَنْزَلَ مِنَ السَّمَاۤءِ مَاۤءً فَاَحْيَا بِهِ الْاَرْضَ بَعْدَ مَوْتِهَاۗ اِنَّ فِيْ ذٰلِكَ لَاٰيَةً لِّقَوْمٍ يَّسْمَعُوْنَ

Dan Allah menurunkan air (hujan) dari langit dan dengan air itu dihidupkan-Nya bumi yang tadinya sudah mati. Sungguh, pada yang demikian itu benar-benar terdapat tanda-tanda (kebesaran Allah) bagi orang-orang yang mendengarkan (pelajaran). (an-Naḥl/16: 65)

Ungkapan *ba'da mautihā* pada ayat di atas dapat dimaknai dua kondisi. *Pertama*, kondisi tanah yang kering kerontang, diakibatkan oleh musim kemarau sehingga tak dapat ditumbuhi oleh tumbuh-tumbuhan yang memerlukan air. Setelah musin hujan datang, lambat laun tumbuh berbagai tanaman, menghijau dan tampak subur. *Kedua*, kondisi pada periodisasi kejadian bumi, di mana saat itu bumi masih sangat panas, kemudian turun hujan yang menyebabkan bumi berangsur-angsur dingin. Berikutnya, muncullah berbagai tumbuhan yang dipersiapkan untuk kehidupan manusia.

Gambar 2.3
Tahap kondensasi. *(Sumber: Pinti, 2005)*

4. *Tahap Keempat*: perkembangan makhluk hidup (Gambar 2.4). Sepanjang pengetahuan tentang *extremophilles* (makhluk hidup pada kondisi ekstrem), organisme *hyperthermophilles* (organisme panas bergerak) dapat bertahan hidup pada suhu 80 °C sampai 110 °C. Temperatur ini dicapai pada tekanan CO_2 atmosfer antara 5–25 bar. Sementara itu, kondisi asal tekanan CO_2 di atmosfer pada masa kondensasi adalah 210 bar. Berarti ada sejumlah CO_2 yang diendapkan setara dengan pengurangan tekanan parsial CO_2 antara 185–205 bar. Penurunan ini dicapai melalui daur CO_2 antara bumi (batuan) untuk pembentukan karbonat. Terbentuknya endapan karbonat menyebabkan turunnya tekanan udara dan suhu bumi sampai memungkinkannya kehidupan di dalam laut. Umur batuan-batuan karbonat tua dianggap sama dengan masa penurunan suhu permukaan bumi dan atmosfer sampai pada lingkungan yang memungkinkan kehidupan, dicapai pada 4,26–3,9 miliar tahun yang lalu.

Secara geologi samudra bukan sekadar wilayah yang digenangi air. Dasar samudra ternyata memiliki karakteristik sendiri yang sangat berbeda dengan permukaan daratan, baik dalam hal morfologi (bentuk permukaan) maupun kimia dan mineralogi penyusun batuannya. Di samping itu, proses-proses geologi yang terjadi di dasar samudra tidak hanya berpengaruh pada lingkungan perairan di sekitarnya saja, tetapi memengaruhi pula proses-proses yang terjadi di daratan dan di atmosfer.

Batuan kerak bumi di dasar samudra (kerak samudra) tersusun dari mineral-mineral yang secara keseluruhan bersifat basaltik yang memiliki warna kehitaman atau gelap. Adapun batuan di daratan atau kerak kontinen dikenal dengan tipe granitik, memiliki komposisi mineral berbeda, berwarna lebih terang dengan rapat massa yang lebih ringan. Itulah sebabnya kontinen muncul di permukaan, sedangkan kerak samudra terletak di bawah dan terendam air.

4th step: 4.26 - 3.90 billion years

Gambar 2.4
Tahap perkembangan makhluk hidup.
(Sumber: Pinti, 2005)

Setelah Perang Dunia II pemetaan dasar laut yang lebih detail mulai dilakukan dengan metode geofisika, antara lain dengan menggunakan sonar. Survei ini untuk pertama kalinya mendapati adanya sistem pegunungan di dasar Samudra Atlantik sepanjang 4.000 mil, yang terdiri dari rangkaian punggungan, lembah, dan gunung api. Fenomena api dalam bentuk gunung api di bawah laut telah diisyaratkan di dalam Al-Qur'an. Allah berfirman,

Dan laut yang di dalam tanahnya ada api. (aṭ-Ṭūr/52: 6)

Pada interval tertentu pegunungan ini diselingi dengan rekahan pada kulit bumi yang dikenal sebagai sesar transform (*transform faults*). Kadang-kadang gunung menjulang demikian tinggi dengan puncak yang muncul di atas permukaan laut seperti halnya Pulau Islandia (Iceland). Studi selanjutnya menunjukkan adanya pusat-pusat gempa yang terkonsentrasi di sepanjang punggungan ini. Adapun di bagian yang dekat ke daratan terdapat lembah yang dalam, yang sering disebut palung. Pada bagian ini terdapat aktivitas gunung api dan gempa bumi yang sangat tinggi.

Selain itu, pemetaan dasar laut menemukan pola anomali magnetik yang menarik. Anomali magnetik ini menunjukkan pola simestris bolak-balik di sepanjang sisi kanan dan kiri punggungan tengah samudra. Semakin menjauhi punggungan tengah samudra umur batuan semakin tua, atau semakin muda mendekati sumbu punggungan tengah samudra. Dengan demikian, tepat pada sumbu punggungan tersebut selalu terbentuk material baru dari perut bumi yang keluar dalam bentuk magma pijar yang amat panas, yang membentuk punggungan tengah samudra dan menggerakkan lempeng-lempeng samudra menjauhi punggungan tengah samudra.

Anomali magnetik dasar laut disertai dengan bukti-bukti geologi dan geofisika lainnya telah melahirkan teori lempeng tektonik. Teori ini menunjukkan bahwa permukaan bumi terbagi menjadi beberapa lempeng. Lempeng tektonik tersusun dari kulit bumi atau litosfer (*lithosphere*) yang di dalamnya terdapat kerak bumi (*crust*). Lempengan litosfer ini memiliki temperatur rendah sehingga batuan di dalamnya relatif tidak berubah dalam skala waktu geologi yang sangat panjang. Di bawah litosfer terdapat astenosfer (*asthenosphere*) yang cukup panas dan menyebabkan terjadinya rayapan yang menyerupai sifat fluida. Dengan demikian, seolah-olah lempengan litosfer berada di

atas astenosfer yang dapat bergerak ibarat benda cair. Lempeng-lempeng ini bergerak relatif terhadap lempeng lainnya. Di wilayah tengah samudra lempeng-lempeng bergerak saling menjauhi dan membentuk jalur panjang punggungan tengah samudra, sedangkan di bagian lain lempeng-lempeng saling mendekati, bertabrakan, membentuk palung, dan salah satu lempeng menghunjam masuk di bawah yang lain serta diikuti oleh pembentukan pegunungan, gunung api, dan gempa bumi.

B. *PANGEA* YANG TERPECAH

Alam yang kita tempati dan saksikan hari ini sejatinya mengalami proses penciptaan yang sangat panjang. Semua ciptaan Allah, termasuk samudra, mengalami tahapan perubahan dari waktu ke waktu. Tahapan-tahapan dalam kehidupan di alam ini adalah suatu keniscayaan. Allah berfirman,

وَقَدْ خَلَقَكُمْ اَطْوَارًا ﴿١٤﴾ اَلَمْ تَرَوْا كَيْفَ خَلَقَ اللّٰهُ سَبْعَ سَمٰوٰتٍ طِبَاقًاۙ ﴿١٥﴾

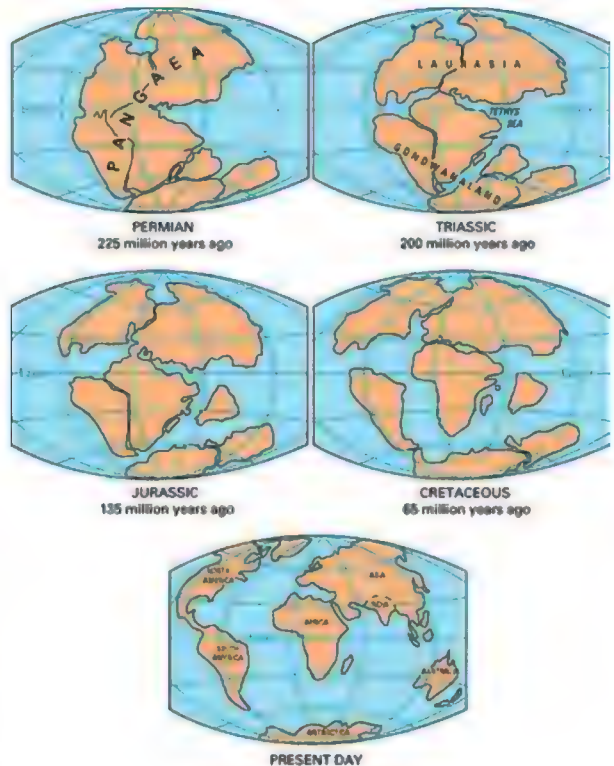
Dan sungguh, Dia telah menciptakan kamu dalam beberapa tingkatan (kejadian). Tidakkah kamu memperhatikan bagaimana Allah telah menciptakan tujuh langit berlapis-lapis? (Nūḥ/71: 14–15)

Pembentukan jagat raya termasuk di dalamnya samudra melalui tingkatan atau tahapan yang rumit. Dengan mengamati balik jejak-jejak masa lalu kita dapat merekonstruksi kembali pembentukan samudra. Pada awal pembentukan planet bumi, permukaannya memiliki rupa yang relatif sederhana dibandingkan dengan apa yang kita jumpai saat ini; permukaan bumi hanya terbagi dua, yaitu daratan dan lautan. Daratan di permukaan bumi merupakan sebuah benua yang sangat besar (superkontinen) yang dinamai *Pangea*. *Pangea* berbentuk bulan sabit, menghadap ke timur, dengan bagian terluas terletak di sepanjang khatulistiwa berupa rangkaian pegunungan yang membentang pada arah barat-timur. Bagian yang terendam lautan meliputi bagian yang lebih luas, kira-kira dua kali luas daratan. Keseluruhan lautan ini secara umum diberi nama *Panthalassa*, kecuali pada bagian teluk di sebelah timur *Pangea* yang diberi nama khusus *Tethys* atau *Paleotethys* untuk membedakannya dari laut *tethys* yang terbentuk pada zaman-zaman berikutnya. Keadaan ini berlangsung hingga zaman Trias, sekitar 250 juta tahun yang lalu (Gambar 2.5).

Sebuah laut baru terbentuk di bagian tengah *Pangea* berupa celah yang memotong superkontinen dengan arah barat-timur, dan juga dinamai *Tethys*. Proses ini kemudian di-

Gambar 2.5
Rupa permukaan bumi purba: Pangea dan Panthalassa. *(Sumber: Greendustries.com)*

arah Laut Hitam, Laut Kaspia, dan Laut Aral. Demikian pula daerah-daerah yang sekarang dikenal sebagai Pakistan dan India. Samudra Hindia dan Indonesia menempati daerah yang dahulunya merupakan wilayah Laut *Tethys*, sedang Samudra Pasifik adalah bagian yang tetap berupa lautan semenjak *Panthalassa*.

susul dengan terpecahnya Pangea menjadi beberapa lempeng yang masing-masing bergerak ke arah yang berlainan dengan kecepatan yang berbeda pula. Masa penyebaran masing-masing lempeng ini dibarengi dengan masa terbentuk dan hilangnya laut-laut baru yang terletak di antara lempeng-lempeng benua (Gambar 2.6). Samudra yang terbentuk setelah terpecahnya *Pangea* dan terdapat sampai sekarang antara lain adalah Samudra Atlantik dan Samudra Hindia. Bagian laut yang kemudian menghilang adalah *Tethys*, yang kini meninggalkan jejak keberadaannya berupa rangkaian laut dan danau-danau raksasa yang membentang dari Laut Tengah ke

Gambar 2.6
Perubahan sebaran daratan di muka bumi semenjak 250 juta tahun yang lalu hingga masa kini.
(Sumber: USGS.org)

C. LAUT MATI DAN LAUT MERAH

Al-Qur'an menceritakan peristiwa tenggelamnya Firaun dan pasukannya di Laut Merah pada Surah al-Baqarah/2: 50, al-Anfāl/8: 54, al-A'rāf/7: 136, Yūnus/10: 90, al-Isrā'/17: 103, Ṭāhā/20: 77, asy-Syu'arā'/26: 63–66; al-'Ankabūt/29: 39–40, az-Zukhruf/43: 55–56, dan ad-Dukhān/44: 24. Ayat yang disebut pertama sebagai berikut.

وَاِذْ فَرَقْنَا بِكُمُ الْبَحْرَ فَاَنْجَيْنٰكُمْ وَاَغْرَقْنَآ اٰلَ فِرْعَوْنَ وَاَنْتُمْ تَنْظُرُوْنَ

Dan (ingatlah) ketika Kami membelah laut untukmu, sehingga kamu dapat Kami selamatkan dan Kami tenggelamkan (Firaun dan) pengikut-pengikut Firaun, sedang kamu menyaksikan. (al-Baqarah/2: 50)

Laut Merah dan Laut Mati merupakan badan air yang terletak di Timur Tengah, sehingga banyak disebut dalam kitab suci karena berdekatan dengan daerah tempat para nabi dan rasul berada. Laut Merah banyak diceritakan secara tidak langsung, baik dalam Al-Qur'an maupun kitab-kitab suci terdahulu, misalnya ketika Nabi Musa membelah laut untuk menyelamatkan umatnya dari kejaran Firaun. Peristiwa tersebut terjadi di Laut Merah. Sedangkan Laut Mati diyakini sebagai tempat dibenamkannya kota umat Nabi Lut yang ingkar, Sodom dan Gomorah, ke dalam bumi (baca misalnya Surah Hūd/11: 81–83).

Dinamai Laut Merah karena pada waktu-waktu tertentu air laut di sekitar permukaannya berwarna merah akibat ledakan pertumbuhan bakteri (ganggang) *Trichodesmium erythraeum*. Secara fisik Laut Merah memiliki kekhususan karena terletak di tengah-tengah daerah yang sangat kering, gurun, dan semi gurun. Alasan terkuat mengapa terumbu karang berkembang di Laut Merah adalah adanya sirkulasi air yang baik sampai dengan kedalaman. Massa air laut merah mengalami pertukaran dengan laut luas di Laut Arab dan kemudian Samudra Hindia, melalui Teluk Aden. Sirkulasi ini mengurangi pengaruh tingginya salinitas di utara dan tingginya suhu di selatan yang disebabkan oleh evaporasi.

Iklim Laut Merah adalah hasil dari dua musim angin yang berbeda, yaitu angin timur laut dan angin barat daya. Musim angin ini terjadi karena adanya perbedaan pemanasan antara permukaan daratan dan laut. Suhu permukaan yang sangat tinggi membuat laut ini merupakan salah satu laut terpanas di muka bumi. Suhu rata-rata permukaan air Laut Merah pada musim panas adalah sekitar 26 °C di utara dan sekitar 31 °C di selatan dengan hanya bervariasi sebesar 2 °C

di musim dingin. Suhu rata-rata total adalah 22 °C dan suhu permukaan harian bervariasi antara 21–25 °C. Curah hujan rata-rata di sekitar Laut Merah sangat rendah, hanya sekitar 60 mm per tahun. Presipitasi umumnya jatuh dalam waktu pendek, seringkali dibarengi dengan badai petir atau badai debu. Laut Merah merupakan salah satu laut dengan kegaraman tertinggi di dunia, berkisar sekitar 36‰ di bagian selatan dan 41‰ di utara, dengan rata-rata sekitar 40‰. Bandingkan dengan rata-rata slinitas air laut dunia yang hanya 35‰.

Sementara itu, nama Laut Mati muncul akibat sulitnya menjumpai kehidupan di laut ini karena tingkat kegaraman yang ekstrem tinggi, atau bisa juga karena di tempat ini kota Sodom dan Gomorah dipercaya telah dibinasakan oleh Allah.

Laut Mati sebenarnya merupakan laut tertutup di tengah daratan, sehingga lebih cocok dinamakan danau. Secara geologi laut ini terletak pada sebuah sesar yang memanjang arah utara selatan. Secara topografi Laut Mati berada pada elevasi di bawah muka air laut rata-rata. Terdapat dua hipotesis tentang situasi Laut Mati. *Pertama*, danau ini terletak pada perpanjangan zona *rift* (bukaan) Laut Merah atau bahkan memanjang sampai bagian timur Afrika. *Kedua*, danau ini terbentuk akibat bukaan-bukaan di sepanjang sesar *transform*, dan menyebabkan tarikan kerak bumi dengan konsekuensi pembenaman di sepanjang bagian pusatnya. Di sini tampak adanya kesinambungan antara cerita Kitab Suci dengan bukti geologi tentang pembenaman daratan ke dalam bumi.

Laut Mati berada di bawah pengaruh iklim yang dicirikan oleh langit yang cerah sepanjang tahun dengan udara yang kering. Curah hujan rata-rata kurang dari 50 mm, dengan suhu udara rata-rata pada musim panas antara 32–39 °C, dan pada musim dingin antara 20–23 °C. Tubuh air Laut Mati memberi pengaruh terhadap suhu lingkungan sekitarnya. Pada musim panas suhu air di sini cenderung lebih rendah daripada suhu daratan, dan sebaliknya.

Air Laut Mati terdiri dari dua lapis yang berbeda dalam hal suhu, kerapatan jenis, umur, dan kegaraman. Di permukaan sampai dengan kedalaman 35 m, air memiliki kegaraman sekitar sepuluh kali lipat kegaraman rata-rata air laut, antara 300–400‰. Suhu air di bagian permukaan berubah-ubah antara 19–37 °C. Di bawahnya, lapisan air memiliki suhu yang tetap, ± 22 °C dengan kandungan garam NaCl yang sangat jenuh dan menyebabkan garam mengendap ke dasar laut.

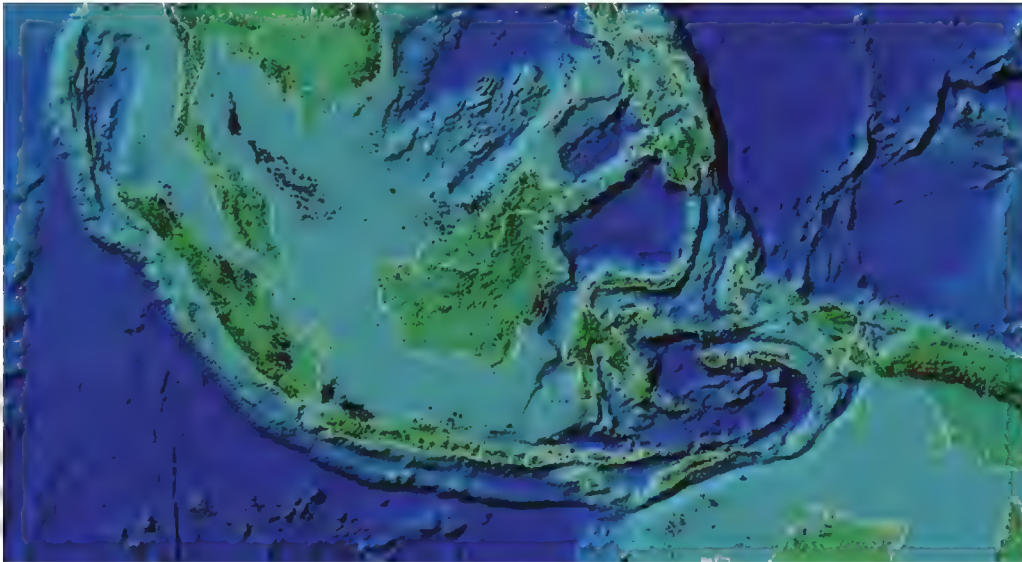
Pada awal dekade 1960 air yang masuk ke Laut Mati dari Sungai Jordan berkurang akibat pemanfaatan air sungai untuk irigasi. Sekitar tahun 1975 air di lapisan atas lebih salin daripada lapisan di bawahnya. Meski demikian, garam di lapisan atas tetap larut karena suhunya lebih tinggi. Pada musim dingin peralihan tahun 1978 dan 1979, berat jenis air di bagian atas lebih besar daripada air di bawahnya, dan air di bagian atas turun ke dasar sehingga terjadi pencampuran air pertama kali sejak berabad-abad. Semenjak itu pelapisan air terbentuk kembali. Tingginya berat jenis air Laut Mati menyebabkan air tersebut memiliki daya apung yang tinggi dan benda-benda, termasuk tubuh manusia, yang masuk ke dalamnya lebih sulit tenggelam daripada ke dalam air laut biasa yang memiliki berat jenis lebih rendah.

D. PAPARAN SUNDA DAN PAPARAN SAHUL

Dari dua pertiga wilayah Indonesia yang ditutupi laut, terdapat dua wilayah perairan dangkal yang masing-masing terletak di bagian barat dan timur. Dangkalan yang terletak di bagian barat dinamakan Paparan Sunda (*Sunda Shelf*) dan yang di bagian timur dinamakan Paparan Sahul (*Sahul Shelf*). Kedua paparan tersebut dipisahkan

Gambar 2.7
Dua paparan di wilayah Indonesia, yakni Paparan Sunda dan Paparan Sahul yang dipisahkan oleh laut dalam. *(Sumber: wikipedia.org)*

oleh laut dalam yang yang bertepatan dengan Kawasan Wallacea (Gambar 2.7).

Secara geologi Paparan Sunda merupakan bagian dari Paparan Asia Tenggara (*South East Asia Continental Shelf*) yang tercabik dari lempeng Eurasia. Ia terdorong pada posisinya yang sekarang ketika Anak Benua India menabrak Eurasia sekitar 55 juta tahun yang lalu (Tapponnier dkk., 1982). Hal yang menarik adalah bila kita melihat ke belakang, yaitu pada masa terjadinya *Late Glacial Maximum* (LGM) atau Glasial Maksimum Terakhir (Zaman Es terakhir) 26.500 tahun yang lalu. Pada saat itu muka air laut berada 116 m

Gambar 2.8
Keadaan Indonesia pada saat LGM (26.500 juta tahun yang lalu) Kalimantan, Jawa, dan Sumatera masih menyatu dengan daratan Asia yang disebut Paparan Sunda, dan di bagian timur terdapat Paparan Sahul yang merupakan bagian daratan Papua dan Australia. *(Sumber: http://geotrekindonesia.wordpress.com/)*

di bawah permukaan laut sekarang, sementara Pulau Kalimantan, Jawa, dan Sumatera menyatu dengan Benua Asia (Sathiamurthy dan Voris, 2006). Selain terdapat sejumlah danau, pada saat itu terdapat pula sungai-sungai di daratan Kalimantan, Jawa, dan Sumatera yang bermuara di Laut China Selatan dan Selat Makassar, di mana yang paling besar di antara sungai-sungai itu adalah *The North Sunda River* (Hanebuth dkk., 2000) (Gambar 2.8).

Perubahan senantiasa terjadi di alam ini, tak terkecuali pada laut dan samudra. Air laut bisa meluap dan menggenangi wilayah yang dulunya daratan. Paparan Sunda dulu merupakan daratan yang menggabungkan Pulau Jawa, Sumatera, dan Kalimantan. Begitu pula yang terjadi di berbagai tempat di bumi ini. Al-Qur'an mengindikasikan bahwa laut (samudra) sewaktu-waktu dapat meluap, baik bersifat menetap maupun sementara, misalnya dalam Surah al-Infiṭār/82: 3 berikut ini.

Dan apabila laut dijadikan meluap. (al-Infiṭār/82: 3)

Dalam kitab-kitab klasik, seperti karya 'Abdul Karīm al-Qusyairi (tanpa tahun: 3/696) menyatakan bahwa sebagian dari tanda-tanda kebesaran Allah adalah membuat laut itu saling terbuka antara satu dengan lainnya sehingga tampak meluas. Al-Ālūsi

(tanpa tahun: 22/242) lebih tegas menyatakan bahwa ayat ini mengindikasikan terbukanya pembatas dua laut sehingga bercampur kedua airnya, baik yang asin maupun tawar, lalu menjadi satu kesatuan lautan.

Proses penenggelaman Paparan Sunda dimulai sekitar 21.000 tahun yang lalu ketika muka air laut mulai naik secara pelahan dari -116 m menjadi -114 m. Hal ini berlangsung selama 3.000 tahun. Kemudian antara selang waktu 19.000–14.600 tahun yang lalu muka air laut naik dari -114 m menjadi -96 m, atau naik 18 m dalam kurun waktu 4.400 tahun. Kenaikan muka laut semakin cepat terjadi pada selang waktu 14.600–14.300 tahun yang lalu ketika muka air laut naik dari -96 m menjadi -80 m atau 16 m dalam waktu 300 tahun. Demikian seterusnya; dan sekitar 1.000 tahun yang lalu posisi muka air laut seperti yang kita lihat saat ini (Sathiamurthy dan Voris, 2006), di mana sebagian besar Paparan Sunda tenggelam dan memisahkan Sumatera, Jawa, dan Kalimantan.

Ketika masih berada di atas permukaan laut Paparan Sunda yang didasari oleh batuan granitik ini mengalami proses-proses pelapukan, erosi, dan pengendapan melalui sungai-sungai yang ada. Sebagian endapan itu membawa bijih timah yang sangat bermanfaat bagi manusia. Selain itu proses-proses geologi yang lebih panjang telah memungkinkan terjadinya akumulasi energi fosil berupa endapan hidrokarbon. Seluruh proses geologi yang rumit itu adalah rahmat Allah bagi manusia.

Jika di bagian barat Paparan Sunda merupakan bagian dari lempeng Benua Eurasia, maka di bagian timur terdapat Paparan Sahul yang merupakan bagian dari lempeng Benua Australia. Paparan ini berada di antara Papua dan Australia serta mencakup Laut Arafuru dan Laut Timor. Seperti halnya Paparan Sunda, pada Zaman Es Terakhir (LGM), Paparan Sahul berada di atas muka laut dalam bentuk daratan kering (*dry land*). Sungai-sungai di Paparan Sahul berasal dari Australia maupun Papua yang kemudian menyatu menuju barat laut ke arah Laut Banda.

Kenaikan muka laut yang mulai terjadi pada 21.000 tahun yang lalu menyebabkan Paparan Sahul mengalami hal serupa dengan Paparan Sunda. Pada sekitar 11.000 tahun yang lalu, yaitu ketika muka laut berada pada -50 m, atau naik sekitar 50 m selama kurun waktu 4.000 tahun, Carpenteria di Australia berubah menjadi laut dan berbentuk teluk (Voris, 2000). Ketika muka air laut berada pada posisi -20 m, Kepulauan Aru di Indonesia Timur tampaknya mulai terpisah dari daratan utama.

Di bagian tengah wilayah Indonesia terdapat perairan dalam yang mencakup Selat Makassar, Laut Maluku, dan Laut Banda. Ketiganya termasuk dalam *Area Walaccea* (Satyana, 2012) yang di dalamnya ada tiga garis biogeografi (*line*), yaitu Garis Wallace, Garis Weber, dan Garis Lydekker (Satyana, 2012). Hal yang menarik untuk dicermati adalah Garis Wallace yang melalui Selat Lombok dan Selat Makassar, merupakan garis pemisah maya distribusi fauna. Garis pemisah biologi ini bertepatan dengan batas geologi yang memisahkan Paparan Sunda dengan Sulawesi dan Indonesia bagian Timur. Sejak awal tampaknya Wallace telah menduga pemisahan ini haruslah berkaitan dengan batas geologi (Satyana, 2012).

E. SELAT SUNDA, SELAT MAKASSAR, DAN LAUT BANDA

Banyak hal di sekeliling kita yang tampak diam padahal sejatinya bergerak. Penumpang sebuah kendaraan yang melaju cepat boleh jadi hanya merasa duduk manis, padahal sesungguhnya ia bergerak secepat kendaraan yang ditumpanginya. Benda-benda yang kita lihat di sekitar kita tidak tampak bergerak, padahal unsur-unsur atomnya berputar setiap waktu. Semua itu adalah wujud ketundukan alam pada hukum yang diciptakan oleh Allah. Bahasa Al-Qur'an menyebutkan bahwa semua benda-benda bertasbih, hanya saja manusia tak mengerti cara mereka bertasbih. Mari kita perhatikan Surah al-Isrā'/17: 44 berikut.

تُسَبِّحُ لَهُ السَّمٰوٰتُ السَّبْعُ وَالْاَرْضُ وَمَنْ فِيْهِنَّۗ وَاِنْ مِّنْ شَيْءٍ اِلَّا يُسَبِّحُ بِحَمْدِهٖ وَلٰكِنْ لَّا تَفْقَهُوْنَ تَسْبِيْحَهُمْۗ اِنَّهٗ كَانَ حَلِيْمًا غَفُوْرًا

Langit yang tujuh, bumi dan semua yang ada di dalamnya bertasbih kepada Allah. Dan tidak ada sesuatu pun melainkan bertasbih dengan memuji-Nya, tetapi kamu tidak mengerti tasbih mereka. Sungguh, Dia Maha Penyantun, Maha Pengampun. (al-Isrā'/ 17: 44)

Pendek kata, semua benda yang ada di alam ini bertasbih kepada Allah. Bertasbih di sini pada umumnya dimaknai sebagai kepatuhan kepada *sunnatullāh* (hukum-hukum Allah yang diciptakan di alam ini) atau dalam bahasa sains disebut dengan hukum alam. Termasuk di dalamnya gunung yang terus bergerak yang diibaratkan Al-Qur'an laksana pergerakan awan. Untuk jelasnya mari kita cermati ayat yang menjelaskannya berikut ini.

وَتَرَى الْجِبَالَ تَحْسَبُهَا جَامِدَةً وَّهِيَ تَمُرُّ مَرَّ السَّحَابِۗ صُنْعَ اللّٰهِ الَّذِيْٓ اَتْقَنَ كُلَّ شَيْءٍۗ اِنَّهٗ خَبِيْرٌۢ بِمَا تَفْعَلُوْنَ

Dan engkau akan melihat gunung-gunung, yang engkau kira tetap di tempatnya, padahal ia berjalan (seperti) awan berjalan. (Itulah) ciptaan Allah yang mencipta dengan sempurna segala sesuatu. Sungguh, Dia Mahateliti apa yang kamu kerjakan. (an-Naml/27: 88)

Tafsir al-Muntakhab (tanpa tahun: 2/271) menjelaskan makna ayat di atas sebagai berikut. "Wahai Rasul, engkau melihat gunung-gunung itu tetap di tempatnya dan engkau mengira mereka diam, padahal yang terjadi sesungguhnya mereka bergerak cepat laksana gerakan awan." Pergerakan-pergerakan bumi, lempengan bumi, dan semua benda-benda di atasnya tentu menimbulkan berbagai perubahan, baik pergerakan cepat, sedang, maupun pergerakan lambat yang tidak disadari oleh manusia. Perubahan dinamis itu yang menyebabkan terjebaknya endapan-endapan yang diperlukan manusia, seperti mineral, air tanah, energi fosil, dan sebagainya. Selain itu, perubahan juga dapat menimbulkan gempa, tsunami, hilangnya daratan dari pandangan mata, atau munculnya gunung-gunung baru seperti terjadi pada Anak Krakatau di Selat Sunda.

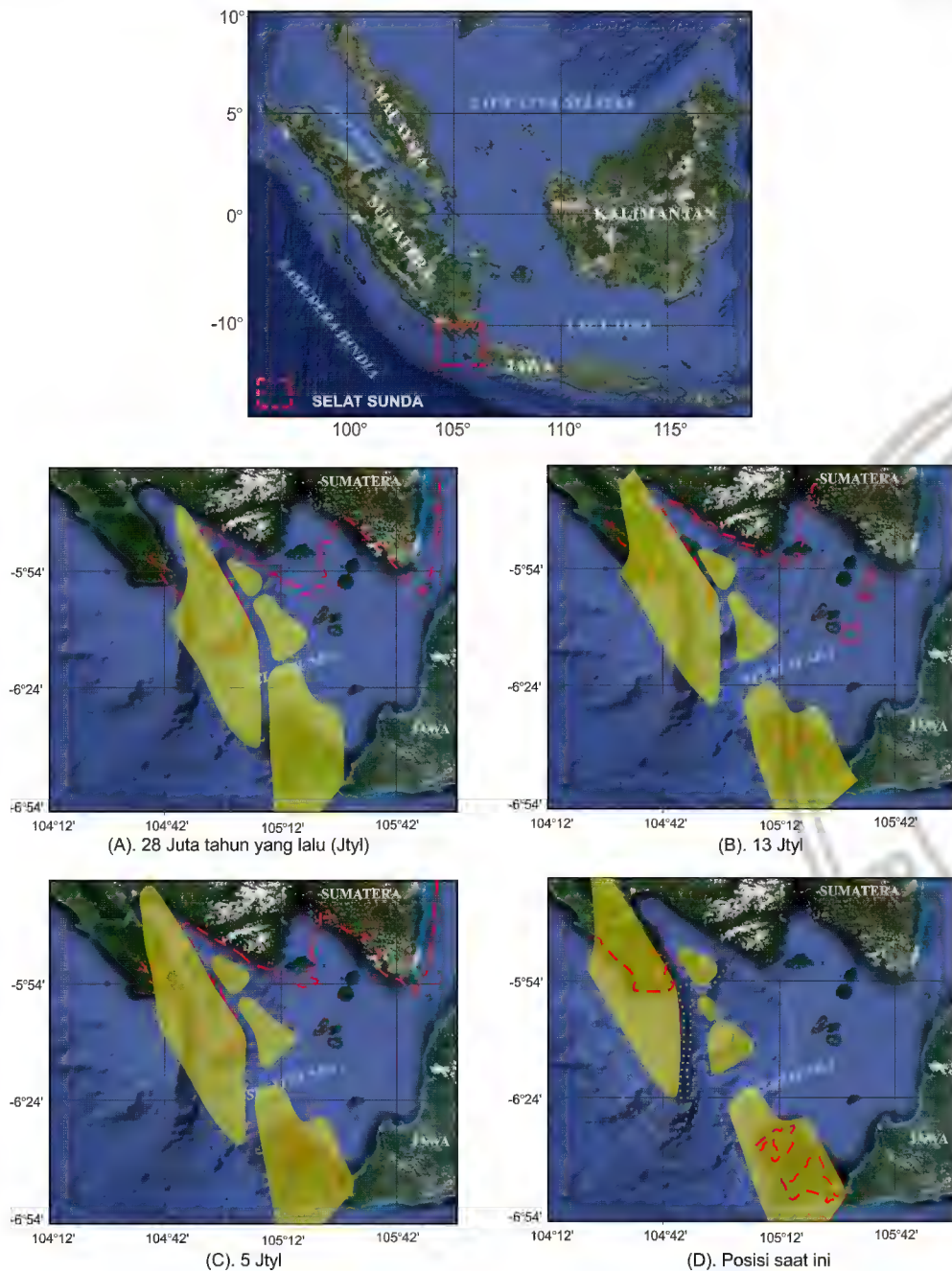
Selat Sunda, Selat Makassar, dan Laut Banda merupakan beberapa contoh selat yang terbentuk akibat lempengan-lempengan yang bergerak. Selat Sunda merupakan selat yang memisahkan Jawa dan Sumatera. Kedalaman selat ini rata-rata sekitar 100 m, kecuali di Kompleks Krakatau yang lebih dari 200 m dan di bagian paling barat yang mencapai lebih dari 1.600 m. Bila kedalaman di Kompleks Krakatau berkaitan dengan kaldera tua Krakatau, maka kedalaman di bagian barat berkaitan dengan graben atau lembah yang memanjang utara-selatan dan merupakan kelanjutan patahan Sumatera (Harjono, 1988; Harjono dkk., 1991). Secara geologi selat ini merupakan salah satu kawasan yang paling aktif di Indonesia, antara lain ditandai oleh aktivitas seismik (gempa), gunung api, dan gerak-gerak vertikal kerak bumi, baik penurunan maupun kenaikan daratan.

Salah satu unsur tektonik yang berperan penting dalam pembentukan Selat Sunda adalah patahan Sumatera. Patahan yang memotong Sumatera ini juga memotong Selat Sunda dalam arah Utara-Selatan, yang dimanifestasikan dalam bentuk lembah dalam atau graben. Pembentukan Selat Sunda diawali oleh proses ekstensi (peregangan) kerak bumi yang disebabkan oleh patahan Sumatera sejak zaman *Oligosen* Atas (28 juta tahun yang lalu).

Kemudian sekitar zaman *Miosen* Atas (13 juta tahun yang lalu) pergerakan semakin nyata, dan pada zaman *Pliosen* (5 juta tahun yang lalu) ber-

tambah cepat (Lassal dkk., 1989). Data geologi dan geofisika merekam gerakan-gerakan yang terjadi di masa lalu tersebut. Sebagai contoh adalah data seismik pantul yang menunjukkan adanya tubuh terumbu karang yang biasanya berada pada perairan dangkal terkubur pada kedalaman lebih dari 3.000 m. Dengan menggunakan data geofisika, khususnya data gaya berat dan seismik pantul direkonstruksikan kembali sejarah pembentukan Selat Sunda (Harjono dkk., 1997) (Gambar 2.9). Pada gambar tersebut terlihat semula Sumatera dan Jawa bersatu di mana blok-blok batuan dengan rapat massa tinggi (warna kuning) praktis menutup Selat Sunda (Gambar 2.9A). Segera setelah 28 juta tahun yang lalu lempeng mikro Sumatera mulai bergerak melalui patahan Sumatera, dan proses pembentukan Selat Sunda dimulai. Tahap berikutnya, 13 juta tahun yang lalu (Gambar 2.9B) pergerakan semakin nyata. Terakhir, sekitar 5 juta tahun yang lalu, pergerakan lempeng mikro Sumatera semakin cepat (Gambar 2.9C) dan Selat Sunda semakin terbuka dan sampai pada posisi saat ini (Gambar 2.9D). Akibat proses peregangan kerak bumi yang membentuk Selat Sunda, kerak bumi di Selat Sunda semakin tipis dan menyebabkan magma naik dan membentuk Gunung Krakatau, di mana magma tersimpan pada kedalaman 22 km dan 9 km (Harjono dkk., 1989). Pergerakan kerak bumi ini terus terjadi hingga saat ini. Sisi Sumatera bagian barat terus bergerak ke arah barat laut meninggalkan Jawa.

Selat Makassar dilandasi kerak benua terdiri dari 2 cekungan, yakni Cekungan Makassar Utara dan Cekungan Makassar Selatan. Pada kasus Selat Makassar, hal yang menarik adalah kesamaan geologi Kalimantan bagian Timur dan Sulawesi bagian Barat. Berangkat dari kesamaan tersebut, pembentukan Selat Makassar diakibatkan oleh pemisahan Kalimantan dan Sulawesi pada zaman Paleogen, sekitar 60 juta tahun yang lalu (Hall, 1996). Pemisahan antara Kalimantan dan Sulawesi juga dapat dilihat dari kecocokan (*best fitting*) bentuk batimetri (kedalaman laut) pada bagian barat dan timur Cekungan Makassar Utara dan Cekungan Makassar Selatan yang dihasilkan dari peregangan kerak benua. Dengan demikian, seperti halnya Selat Sunda, Selat Makasar terbentuk oleh pergerakan lempeng, di mana kepingan lempeng Sulawesi tersobek akibat peregangan dan bergerak ke arah timur di tempatnya yang sekarang.

Dari sisi geologi, Indonesia bagian Timur sangat kompleks. Hal itu tecermin pula pada umur dan asal-usul Laut

Gambar 2.9

Perkembang Selat Sunda sejak 28 juta tahun yang lalu. Perhatikan posisi blok-blok warna kuning dan garis pantai Sumatera warna merah. Blok warna kuning pada 28 juta tahu yang lalu praktis menutup Selat Sunda dan posisi garis pantai Sumatera lebih dekat dengan Jawa. Sejalan dengan waktu lempeng mikro Sumatera bergerak ke arah barat laut dan blok-blok saling menjauh dan sebagian tenggelam di bawah laut membentuk Selat Sunda seperti saat ini.

(Sumber: Repro dari Harjono dkk., 1997)

Banda yang mengundang perdebatan panjang hingga kini. Sebagian peneliti berpendapat bahwa Laut Banda haruslah berumur tua, sedang yang lain justru berpendapat bahwa umur Laut Banda adalah muda (Hall, 1996). Tentang asal-usul laut ini pun para peneliti tidak sependapat. Satu kelompok peneliti menyatakan bahwa ia berasal dari Samudra Hindia, sedangkan yang lain mengatakan ia berasal dari Samudra Pasifik. Para peneliti yang berpendapat bahwa umur Laut Banda tua umumnya menguatkan pendapatnya dari pola kemagnetan. Mereka berpendapat bahwa umur Laut Banda adalah *Mesozoikum* atau sekitar 100–131 juta tahun dan berasal dari pecahan Samudra Hindia yang terperangkap oleh proses tektonik pada zaman *Miosen*, sekitar 5–23 juta tahun yang lalu (Lapouille dkk., 1985). Kelompok peneliti yang meyakini Laut Banda berumur muda mengatakan bahwa umur Laut Banda adalah *Tersier*, kurang dari 60 juta tahun dan berasal dari kepingan Samudra Pasifik, khususnya Cekungan Banda Utara. (Silver dkk., 1985). Untuk mendukung argumentasinya ini mereka melakukan pengambilan contoh batuan di dasar Laut Banda. Salah satu di antara mereka, Hall (1996) dalam merekonstruksi tektonik Indonesia menggunakan Laut Banda yang berumur muda atau sekitar Neogen Akhir (5 juta tahun) dan mula-jadi Laut Banda ini berasal dari proses peregangan.

Meski demikian, persoalan apakah Laut Banda berumur muda atau tua dan asal-usulnya masih terbuka dan terus menjadi bahan perdebatan ilmiah. Salah satu contoh adalah kenyataan bahwa kedalaman Laut Banda Selatan yang relatif dalam menyisakan pertanyaan tentang kapan Laut Banda terbentuk. Terlepas dari perdebatan ilmiah yang masih terus berlangsung, ketiga contoh tersebut di atas memperlihatkan bagaimana gunung-gunung itu bergerak bagai awan sebagaimana disebut dalam firman Allah. []

BAB III
PERAN LAUT UNTUK KEHIDUPAN BUMI

Tak dapat disangkal bahwa laut memberi manfaat luar biasa bagi kehidupan di bumi. Mekanisme pendinginan bumi, ketersediaan air bagi makhluk hidup, ketersediaan sumber protein, prasarana transportasi, siklus air hujan, berbagai sumber industri kosmetika dan estetika lainnya, merupakan 'jasa' laut dan samudra. Beberapa ayat yang dikutip di bawah ini menjelaskan bagaimana laut telah diciptakan Allah untuk kepentingan makhluk-makhluk yang ada di bumi, khususnya manusia.

Surah an-Naḥl/16: 14 berikut ini menjelaskan bagaimana laut berfungsi sebagai prasarana transportasi dan sumber protein dan berbagai keperluan lainnya.

وَهُوَ الَّذِيْ سَخَّرَ الْبَحْرَ لِتَأْكُلُوْا مِنْهُ لَحْمًا
طَرِيًّا وَّتَسْتَخْرِجُوْا مِنْهُ حِلْيَةً تَلْبَسُوْنَهَاۚ وَتَرَى
الْفُلْكَ مَوَاخِرَ فِيْهِ وَلِتَبْتَغُوْا مِنْ فَضْلِهٖ
وَلَعَلَّكُمْ تَشْكُرُوْنَ

Dan Dialah yang menundukkan lautan (untukmu), agar kamu dapat memakan daging yang segar (ikan) darinya, dan (dari lautan itu) kamu mengeluarkan perhiasan yang kamu pakai. Kamu (juga) melihat perahu berlayar padanya, dan agar kamu mencari sebagian karunia-Nya, dan agar kamu bersyukur. (al-Naḥl/16: 14)

اِنَّ فِيْ خَلْقِ السَّمٰوٰتِ وَالْاَرْضِ وَاخْتِلَافِ الَّيْلِ
وَالنَّهَارِ وَالْفُلْكِ الَّتِيْ تَجْرِيْ فِى الْبَحْرِ بِمَا يَنْفَعُ
النَّاسَ وَمَآ اَنْزَلَ اللّٰهُ مِنَ السَّمَاۤءِ مِنْ مَّاۤءٍ فَاَحْيَا بِهِ
الْاَرْضَ بَعْدَ مَوْتِهَا وَبَثَّ فِيْهَا مِنْ كُلِّ دَاۤبَّةٍۖ

وَتَصۡرِيفِ الرِّيٰحِ وَالسَّحَابِ الۡمُسَخَّرِ بَيۡنَ السَّمَآءِ وَالۡاَرۡضِ لَاٰيٰتٍ لِّقَوۡمٍ يَّعۡقِلُوۡنَ

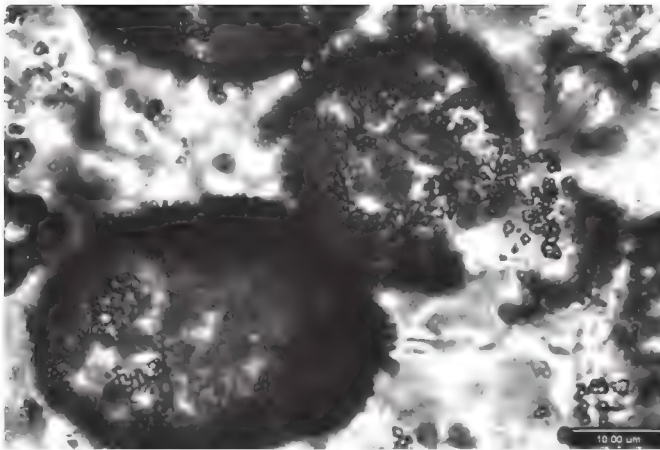
Sesungguhnya pada penciptaan langit dan bumi, pergantian malam dan siang, kapal yang berlayar di laut dengan (muatan) yang bermanfaat bagi manusia, apa yang diturunkan Allah dari langit berupa air, lalu dengan itu dihidupkan-Nya bumi setelah mati (kering), dan Dia tebarkan di dalamnya bermacam-macam binatang, dan perkisaran angin dan awan yang dikendalikan antara langit dan bumi, (semua itu) sungguh, merupakan tanda-tanda (kebesaran Allah) bagi orang-orang yang mengerti." (al-Baqarah/2: 164)

A. AWAL KEHIDUPAN DIMULAI DARI LAUT

Al-Qur'an menyatakan bahwa Allah menciptakan segala yang hidup dari air (al-Anbiyā'/21: 30, an-Nūr/24: 45, al-Furqān/25: 54). Air memiliki peranan amat penting bagi kehidupan di muka bumi (al-Baqarah/2: 164, an-Naḥl/16: 10), tetapi tidak ada keterangan bagaimana dan kapan kehidupan itu bermula di muka bumi.

Fosil-fosil makhluk hidup tertua di permukaan bumi umumnya ditemukan dalam bentuk mikroorganisme bersel tunggal pada batuan yang terbentuk pada zaman *Archaean* (2,7–3,6 miliar tahun yang lalu). Sebelum itu, yaitu pada zaman *Hadean* (4,6–3,6 miliar tahun yang lalu), suhu yang sangat tinggi menyebabkan seluruh permukaan bumi ditutupi oleh lelehan batuan sehingga tidak memungkinkan adanya kehidupan. Setelah suhu mendingin dan batuan membeku, tepatnya pada zaman *Archaean*, barulah sejarah kehidupan bumi dimulai.

Fosil-fosil ini berupa fosil mikroorganisme bersel tunggal yang kemudian dikenal sebagai ganggang biru-hijau. Ganggang biru-hijau (*blue-green algae*) yang dikenal sebagai *cyanobacteria* merupakan mikroorganisme fotosintetik bersel tunggal yang hidup di laut. Berbeda dengan yang lainnya, ganggang biru-hijau memiliki dinding sel yang tebal sebagai pelindung. Di samping itu, ia sering membentuk lapisan berbentuk kubah yang dikenal dengan *stromatolit*, atau bentuk bundar yang dikenal dengan *oncolith*. *Stromatolit* dan *oncolith* apabila terfosilkan dapat melindungi bagian dalam selnya sehingga dapat dibuat irisan penampang sel yang menampakkan ciri-ciri sel bakteri.

Penelitian terbaru (2011) yang dilakukan oleh ilmuwan Australia dan Inggris berhasil menemukan fosil bakteri yang berumur 3,4 miliar tahun yang lalu dan hidup pada lingkungan tanpa oksigen (Gambar 3.1). Mikrofosil tersebut terpelihara baik di antara butiran kuarsa dari pasir pantai tertua yang pernah ditemukan. Pada waktu itu bumi masih merupakan lingkungan yang panas dan ganas dengan

Gambar 3.1
Mikrofosil tubular yang ditemukan pada batuan berumur 3,4 miliar tahun dari Australia Barat.
(Sumber: www. atlasobscura.com)

aktivitas gunung api yang mendominasi permukaan bumi. Langit masih tertutupi awan tebal kelabu yang berfungsi menahan radiasi panas di sekitar permukaan bumi. Suhu air laut diperkirakan setinggi 40–50 °C dan aliran arusnya sangat kuat. Kandungan oksigen di dalamnya sedikit sekali sehingga tidak memungkinkan terjadinya fotosintesis. Bukti-bukti memperlihatkan bahwa kehidupan pada tahap awal lebih banyak berbasis pada metabolisme senyawa-senyawa belerang dibandingkan dengan metabolisme oksigen. Sampai saat ini bakteri-bakteri sulfur masih banyak dijumpai di saluran-saluran, tanah, sumber air panas, dan kawah gunung api. Bakteri ini mungkin hidup tanpa cahaya matahari dan pada suhu yang tinggi, seperti halnya pada lingkungan di sekitar gunung api bawah laut.

Penemuan di atas membuka wacana bahwa kehidupan dimulai di laut atau pada lingkungan yang dipengaruhi laut, karena pada waktu tersebut permukaan daratan baru berupa batuan telanjang yang baru membeku.

B. SUMBER UTAMA DAUR AIR

Peran utama laut adalah sebagai tempat utama penyimpanan air. Adapun keberadaan air di tempat-tempat lainnya di muka bumi disebabkan oleh adanya proses peredaran air di permukaan bumi, yang dikenal dengan istilah daur air. Al-Qur'an melukiskan proses daur air dengan rinci dan mudah dimengerti dalam beberapa ayat, misalnya firman Allah,

Dan tidakkah mereka memperhatikan, bahwa Kami mengarahkan (awan yang mengandung) air ke bumi yang tandus, lalu Kami tumbuhkan (dengan air hujan itu) tanam-tanaman sehingga hewan-hewan ternak mereka dan mereka sendiri dapat makan darinya. Maka mengapa mereka tidak memperhatikan? (as-Sajdah/32: 27)

Penggerak daur air adalah energi panas yang berasal dari penyinaran matahari. Daur air menjadikan air dapat dijumpai di berbagai tempat; di udara sebagai awan dan terkadang berubah menjadi hujan, dan di atas permukaan bumi dalam bentuk air sungai, danau, rawa, kolam, dan sebagainya. Sumbernya tetaplah satu, yakni laut. Laut dianggap tempat awal dan tempat akhir proses daur air. Anggapan ini cukup beralasan karena secara kuantitatif laut menyimpan sekitar 97% dari total air yang terdapat dan beredar di bumi, dan 3% sisanya adalah bentuk air lainnya (Tabel 3.1).

Selain menjadi sarana pendistribusian air dari lautan ke daratan, proses daur air menjadi penyeimbang suhu permukaan bumi antara permukaan lautan dan permukaan daratan. Adanya proses pemisahan daratan menjadi beberapa lempeng yang bergerak saling menjauh satu dari yang lain, yang berlangsung sejak sekitar 250 juta tahun yang lalu hingga sebarannya seperti yang kita jumpai saat ini, menyebabkan daerah daratan yang dipengaruhi laut menjadi lebih luas, sehingga penyebaran kehidupan di muka bumi, termasuk manusia, semakin luas. Al-Qur'an menerangkan daur air sebagai suatu sistem yang memberi manfaat bagi segenap makhluk di bumi. Allah berfirman,

إِنَّ فِيْ خَلْقِ السَّمٰوٰتِ وَالْاَرْضِ وَاخْتِلَافِ الَّيْلِ
وَالنَّهَارِ وَالْفُلْكِ الَّتِيْ تَجْرِيْ فِى الْبَحْرِ بِمَا يَنْفَعُ
النَّاسَ وَمَآ اَنْزَلَ اللّٰهُ مِنَ السَّمَاۤءِ مِنْ مَّاۤءٍ فَاَحْيَا بِهِ
الْاَرْضَ بَعْدَ مَوْتِهَا وَبَثَّ فِيْهَا مِنْ كُلِّ دَاۤبَّةٍ ۖ
وَّتَصْرِيْفِ الرِّيٰحِ وَالسَّحَابِ الْمُسَخَّرِ بَيْنَ السَّمَاۤءِ
وَالْاَرْضِ لَاٰيٰتٍ لِّقَوْمٍ يَّعْقِلُوْنَ

Sesungguhnya pada penciptaan langit dan bumi, pergantian malam dan siang, kapal yang berlayar di laut dengan (muatan) yang bermanfaat bagi manusia, apa yang diturunkan Allah dari langit berupa air, lalu dengan itu dihidupkan-Nya bumi setelah mati (kering), dan Dia tebarkan di dalamnya bermacam-macam binatang, dan perkisaran angin dan awan yang dikendalikan antara langit dan bumi, (semua itu) sungguh, merupakan tanda-tanda (kebesaran Allah) bagi orang-orang yang mengerti. (al-Baqarah/2: 164)

Ayat ini menggambarkan bagaimana hubungan antara laut, daur air, dan kehidupan di daratan. Dengan adanya proses daur air, air terdapat di permukaan bumi dan kemudian menunjang adanya

Tabel 3.1 Jumlah dan proporsi bentuk air di Bumi

Bentuk air	Volume	%
Air laut (samudra)	1.320.000.000 km^3	97,2
Es	25.000.000 km^3	1,8
Air tanah	13.000.000 km^3	0,9
Air permukaan (di darat)	250.000 km^3	0,1
Uap air	13.000 km^3	0,002

kehidupan di muka bumi. Bukti-bukti geologis memperlihatkan bahwa kehidupan berawal di laut. Kehidupan darat dimulai ketika batuan sudah cukup melapuk sehingga tanah di permukaannya bisa ditumbuhi tanaman. Di samping itu, proses pergerakan air menjadi penyebab terpenting proses perubahan di muka bumi dalam bentuk erosi dan sedimentasi. Rupa daratan mengalami banyak perubahan oleh proses daur air, berupa terbentuknya lembah-lembah dalam yang tertoreh oleh gerusan air serta hamparan dataran rendah yang luas yang terbentuk oleh pengendapan bahan hasil erosi. Meski perubahan besar terjadi di daratan, laut sedikit sekali terpengaruh oleh adanya perubahan tersebut.

C. PENGATUR IKLIM GLOBAL

وَاِذَا الْبِحَارُ سُجِّرَتْ

Dan apabila lautan dipanaskan. (at-Takwīr/81: 6)

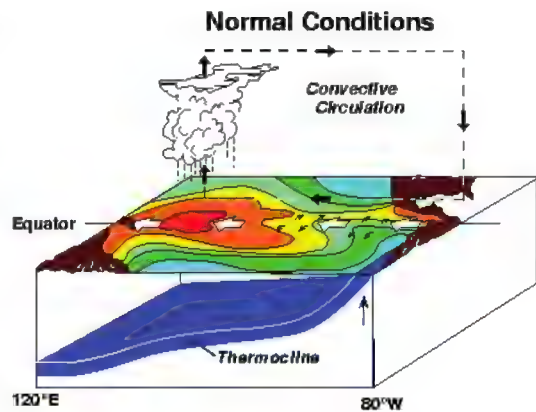
Laut dan atmosfer merupakan sistem yang saling terkait. Laut berperan sebagai pengatur iklim global. Interaksi antara laut dan atmosfer yang terjadi di ekuator Samudra Pasifik dikenal sebagai ENSO atau *El Niño-Southern Oscillation.* Adapun interaksi yang terjadi di ekuator Samudra Hindia dikenal sebagai *Indian Ocean Dipole* (IOD). ENSO adalah mode variabilitas antartahun (*interannual*) dari sistem iklim global. ENSO berkaitan dengan gerakan kolam air hangat di ekuator Samudra Pasifik yang berdampak pada cuaca dan iklim secara lokal maupun global (Collins, 2000). Ada dua fenomena yang berkaitan dengan ENSO, yaitu El Niño atau disebut juga sebagai ENSO hangat, dan La Niña atau ENSO dingin. El Niño dan La Niña merupakan kondisi-kondisi ekstrem dari siklus ENSO. Periode ENSO bervariasi antara 2–7 tahun, dengan rata-rata 4 tahun.

1. El Niño

El Niño merupakan fenomena meningkatnya suhu muka laut di sekitar Pasifik Tengah dan Timur sepanjang ekuator. *Scientific Committe on Oceanic Research* (SCOR) mendefinisikan El Niño sebagai "anomali positif suhu muka laut yang muncul di sepanjang pantai Ekuador dan Peru jauh ke selatan hingga mencapai Lima (120° LS)". Rata-rata anomali suhu muka laut harus lebih besar daripada standar deviasinya untuk sekurang-kurangnya selama 4 bulan berurutan dan tercatat paling sedikit pada 3 dari 5 stasiun pengamat pantai Peru."

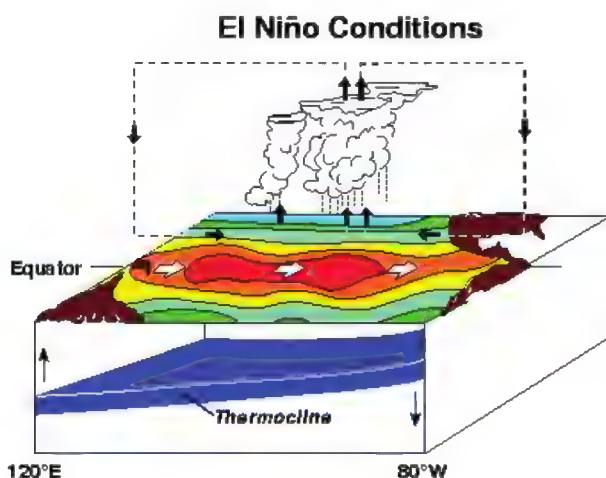
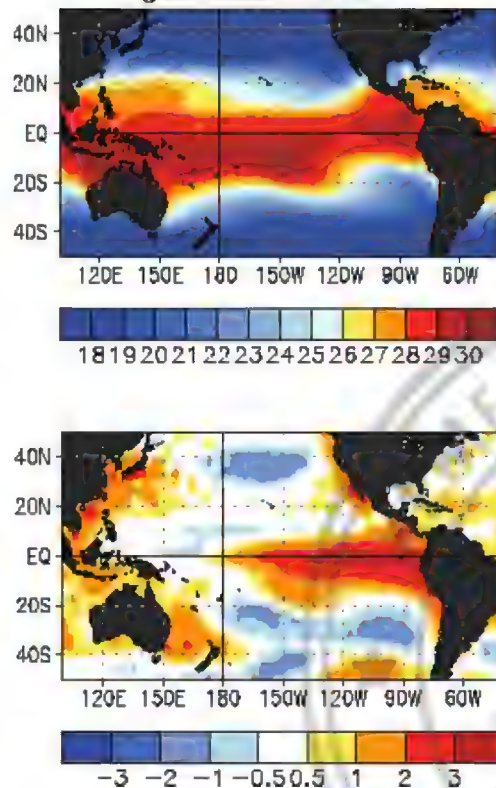
Pada mulanya El Niño merupakan sebutan yang diberikan oleh nelayan Peru terhadap arus lemah dan hangat

yang bergerak ke selatan sepanjang pantai Peru dan Ekuador. El Niño dalam bahasa Spanyol berarti Bayi Kristus. Karena gerakan arus hangat ini terjadi saat natal maka sebutan El Niño ini kemudian dikaitkan dengan fenomena anomali pemanasan skala besar yang memengaruhi perubahan iklim dalam skala lokal dan regional. Anomali pemanasan laut yang terjadi di daerah ekuator Samudra Pasifik ini berkaitan dengan anomali pola iklim global. Komponen atmosfer yang berkaitan dengan El Niño disebut Osilasi Selatan (*Southern Oscillation*), yaitu osilasi tekanan udara di antara Tahiti dan Darwin dan disebut ENSO. Sementara itu, bagi orang awam fenomena tersebut hanya dikenal sebagai El Niño. Adapun La Niña adalah sebutan bagi fenomena mendinginnya perairan tropis Samudra Pasifik dan merupakan fenomena dengan fasa yang berbeda 180° terhadap El Niño.

Pada kondisi normal angin pasat mendorong air hangat di permukaan ke arah barat dan berkumpul di pantai barat Samudra Pasifik atau di perairan timur Papua. Pada kondisi tersebut pusat konveksi berada di Pasifik bagian barat. Sementara itu, muka laut lebih tinggi di Pasifik bagian barat daripada di Pasifik bagian timur (Gambar 3.2). Pada saat El Niño angin pasat melemah dan akibatnya air hangat yang

Gambar 3.2
Kondisi normal di mana angin pasat mendorong air hangat di permukaan terkumpul di pantai barat lautan Pasifik membentuk kolam panas.
(Sumber: http://www.pmel.noaa.gov/tao/proj_over/diagrams/index.html/)

semula berkumpul di pantai timur Papua bergerak sepanjang ekuator Samudra Pasifik ke arah timur menuju pantai barat Amerika Selatan, tepatnya sekitar Peru (Gambar 3.3). Selama kejadian El Niño temperatur permukaan laut (SST) di daerah ekuator bagian timur lebih hangat daripada kondisi normal (Gambar 3.4). Pergerakan kolam air hangat ke arah timur di sepanjang ekuator Pasifik ini memiliki pengaruh penting terhadap cuaca di bumi. Bergeraknya kolam air hangat ke arah timur mengakibatkan bergesernya pola presipitasi di wilayah tropis sehingga memperlemah sistem sirkulasi monsun di Australia atau Asia Tenggara, Amerika Selatan atau Amerika Tengah, dan Afrika. Pada saat kejadian El Niño pusat konveksi bergeser ke arah Pasifik ekuator bagian

tengah dan timur sehingga Indonesia mengalami kekeringan panjang yang dapat berlangsung 9–12 bulan.

Saat kejadian El Niño pergerakan kolam air hangat ke arah timur mengakibatkan kedalaman termoklin di Pasifik ekuator bagian barat berkurang, sementara kedalaman termoklin di bagian timur bertambah. El Niño cenderung membuat lapisan termoklin menjadi datar (Gambar 3.3). Pada saat El Niño kuat termoklin menjadi datar (*flat*) di seluruh Pasifik tropis untuk beberapa bulan. Selain menimbulkan hujan di atas normal, El Niño berdampak negatif terhadap perikanan Peru karena mempengaruhi kekuatan *upwelling* di perairan Peru. Saat kejadian El Niño *upwelling* yang berperan dalam menyuburkan perairan

Gambar 3.3
Kondisi El Niño di mana angin pasat melemah sehingga kolam panas bergerak ke arah timur.
(Sumber: http://www.pmel.noaa.gov/tao/proj_over/diagrams/index.html/)

Gambar 3.4
Kondisi temperatur muka laut (SST) saat El Niño (atas) dan anomali SST saat El Niño (bawah).
(Sumber: http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/ensocycle/ensocycle.shtml)

Peru melemah sehingga kesuburan perairan berkurang dan menyebabkan tangkapan ikan berkurang.

Pemanasan global berdampak pada periode ulang El Niño. Philander (1990) dalam Yan et.al (2005) menyatakan bahwa secara umum El-Niño terjadi sekitar 4–7 tahun sekali, dengan kejadian terkuat sekali dalam sepuluh tahunan. Kondisi ini tidak berlaku lagi saat ini di mana El Niño terjadi semakin

sering dan semakin kuat daripada biasanya. Tiga tahun setelah kondisi yang hangat dan normal pada tahun 1991–1994 berakhir, terjadilah El Niño kuat pada tahun 1997–1998 yang kekuatannya sama dengan El Niño tahun 1982–1983, dan merupakan salah satu El Niño terkuat yang pernah diketahui (Yan et.al, 2005).

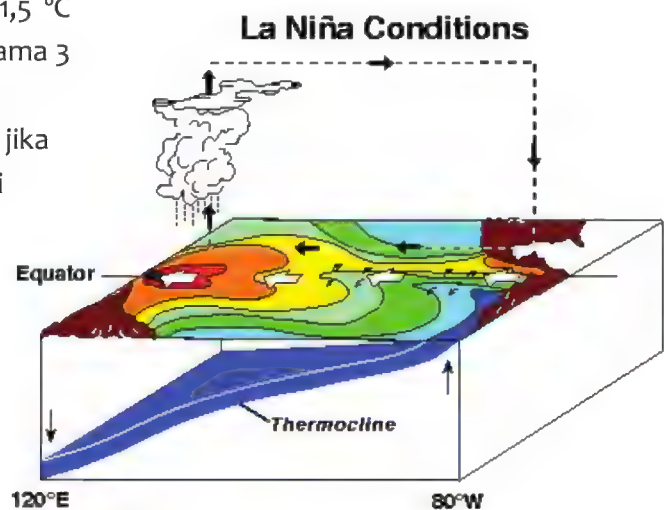
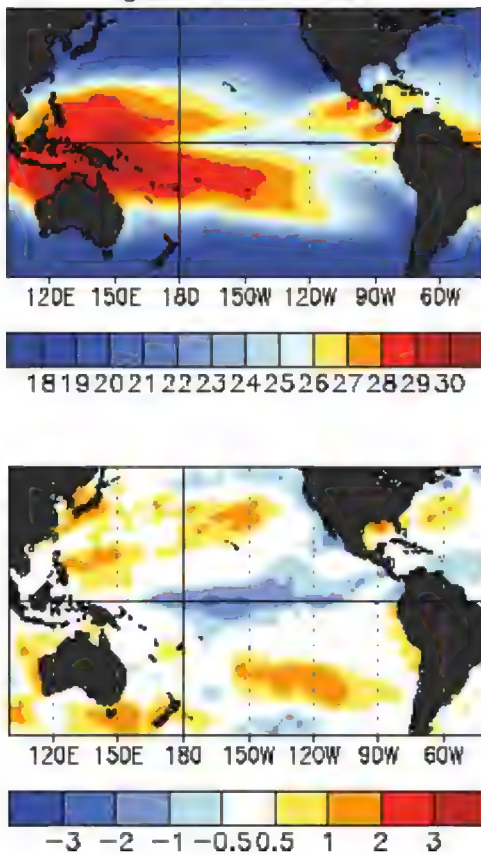
Berdasarkan intensitasnya El Niño dikategorikan sebagai berikut (Sumber: http://www.e-dukasi.net/pengpop/pp_full.php).

a. El Niño Lemah (*Weak El Niño*), jika anomali suhu muka laut di Pasifik ekuator +0,5 °C s.d. +1,0 °C dan berlangsung minimal selama 3 bulan berturut-turut.
b. El Niño sedang (*Moderate El Niño*), jika anomali suhu muka laut di Pasifik ekuator +1,1 °C s.d. +1,5 °C dan berlangsung minimal selama 3 bulan berturut-turut.
c. El Niño kuat (*Strong El Niño*), jika anomali suhu muka laut di Pasifik ekuator > +1,5 °C dan berlangsung minimal selama 3 bulan berturut-turut.

2. La Niña

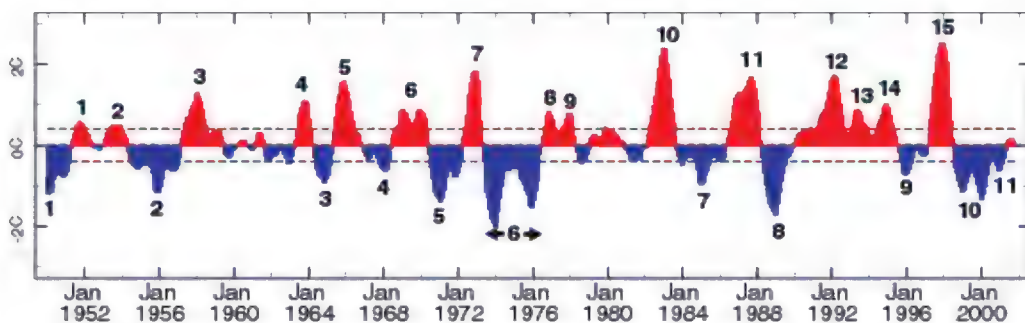
Kondisi ekstrem lain dari ENSO adalah La Niña. La Niña terjadi akibat penguatan angin pasat di atas kondisi rata-ratanya. Pada saat La Niña, angin pasat bertiup lebih kuat daripada biasanya, kolam panas terdorong jauh ke perairan Indonesia memasuki Laut Banda dan Laut Arafuru. Hal ini menyebabkan pusat konveksi yang berada di pantai barat Samudra Pasifik terdorong masuk ke wilayah Indonesia yang mengakibatkan curah hujan lebih banyak daripada biasanya (Gambar 3.5).

Selama La Niña anomali temperatur permukaan laut rata-rata berada sekitar 1–3 °C di bawah normal di sepanjang ekuator Pasifik Tengah dan Pasifik Timur (Gambar 3.6).

Saat kondisi La Niña terjadi kenaikan lapisan termoklin di Pasifik ekuator bagian timur dan penurunan

Gambar 3.5
Kondisi La Niña di mana kolam air hangat dan pusat konveksi terdorong memasuki wilayah Indonesia.
(Sumber: http://www.pmel.noaa.gov/tao/proj_over/diagrams/index.html/)

Gambar 3.6
Kondisi SST saat La Niña (kiri) dan anomali SST saat La Niña (kanan).
(Sumber: http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/ensocycle/ensocycle.shtml).

di bagian barat. Hal ini menyebabkan kedalaman termoklin meningkat di sepanjang basin Pasifik ke arah barat (Gambar 3.5). Ketika La Niña sangat kuat termoklin menjadi sangat dekat dengan permukaan laut di pantai timur Amerika Selatan. La Niña meningkatkan intensitas *upwelling* yang mengakibatkan bertambahnya tangkapan ikan di perairan Peru.

Seperti halnya El Niño, periode La Niña juga cenderung tidak tetap. Gambar 3.7 menunjukkan periode El Niño dan La Niña pada tahun 1952–2000. Gambar 3.7 memperlihatkan selama rentang waktu 1952–2000 telah terjadi 15 kali El Niño dan 11 kali La Niña dalam kategori sedang dan kuat.

Berdasarkan anomali temperatur permukaan laut, La-Niña dapat dikategorikan menjadi 3 tipe, yaitu (Sumber: http://www.e-dukasi.net/pengpop/pp_full.php):

Gambar 3.7
Periode El-Niño dan La-Niña dalam rentang waktu 1952–2000.
(Sumber: http://iri.columbia.edu/climate/ENSO/background/pastevent.hmtl/)

a. La Niña lemah (*Weak La Niña*), jika anomali SST bernilai < -0,5 °C dan berlangsung minimal selama 3 bulan berturut-turut.
b. La Niña sedang (*Moderate La Niña*), jika anomali SST bernilai antara -0,5 °C s.d. -1 °C dan berlangsung minimal selama 3 bulan berturut-turut.
c. La Niña kuat (*Strong La Niña*), jika anomali SST bernilai > -1 °C dan berlangsung minimal selama 3 bulan berturut-turut.

3. *Indian Ocean Dipole* (IOD)

Indian Ocean Dipole (IOD) merupakan fenomena yang mirip dengan ENSO tetapi terjadi di Samudra Hindia. Peristiwa IOD ditandai adanya perbedaan anomali SST antara Samudra Hindia tropis bagian barat (50° BT–70° BT, 10° LS–10° LU, kotak A) dengan Samudra Hindia tropis bagian timur (90° BT–110° BT, 10° LS–ekuator, kotak B) (Gambar 3.8a).

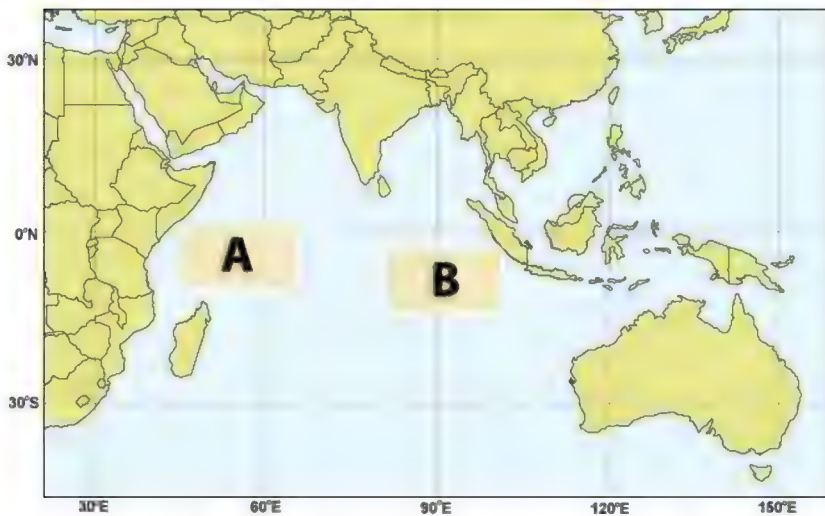
IOD merupakan interaksi yang kuat antara laut dan atmosfer di wilayah ekuator Samudra Hindia. IOD atau disebut *Dipole Mode* (DM) dibagi menjadi dua fase, yakni *Dipole Mode* Positif dan *Dipole Mode* Negatif. Ashok dkk. (2001) menjelaskan bahwa *Dipole Mode* Positif (DMP) terjadi pada saat tekanan udara permukaan di atas wilayah barat Sumatera relatif lebih tinggi dibandingkan wilayah timur Afrika, dan temperatur permukaan laut di wilayah timur Afrika lebih tinggi daripada di wilayah barat Sumatera. Kondisi ini menyebabkan udara mengalir dari bagian barat Sumatera ke bagian timur Afrika sehingga terjadilah pembentukkan awan-awan konvektif di wilayah Afrika bagian timur. Akibatnya terjadi peningkatan curah hujan di atas normal di pantai timur Afrika dan Samudra Hindia bagian barat, sedangkan di Benua Maritim Indonesia (BMI) mengalami penurunan curah hujan dari normalnya dan menyebabkan kekeringan (Gambar 3.8b). Fenomena *Dipole Mode* Negatif (DMN) merupakan kebalikan dari *Dipole Mode* Positif (DMP); temperatur permukaan laut di wilayah Sumatera bagian barat lebih tinggi daripada di Afrika bagian timur. Di BMI terjadi hujan di atas normal sementara di wilayah Afrika bagian timur kekeringan (Gambar 3.8b).

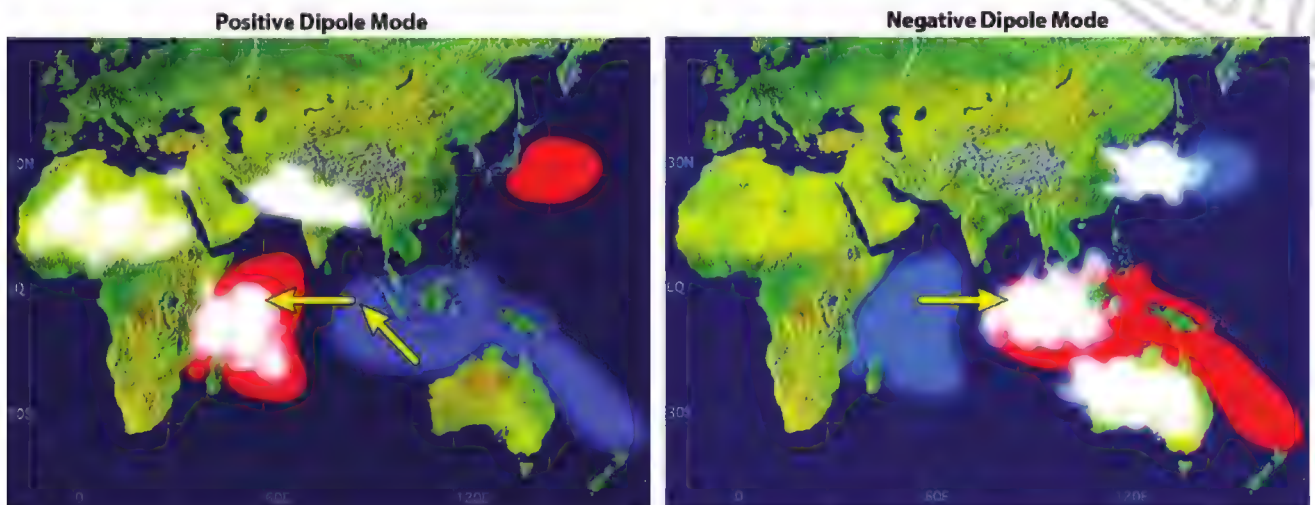
Tahapan Siklus IOD menurut Saji, et.al. (1999) adalah:

a. Muncul anomali SST negatif di sekitar selat Lombok hingga selatan Jawa pada bulan Mei–Juni, bersamaan dengan terjadinya anomali angin tenggara yang lemah di sekitar Jawa dan Sumatera.
b. Anomali terus menguat (Juli–Agustus) dan meluas sampai ke ekuator

di sepanjang pantai selatan Jawa hingga pantai barat Sumatera. Kondisi di atas dibarengi munculnya anomali positif SST di Samudra Hindia bagian barat. Adanya dua kutub anomali SST di Samudra Hindia ekuator ini semakin memperkuat anomali angin tenggara di sepanjang ekuator dan pantai barat Sumatera.

c. Siklus mencapai puncaknya pada bulan Oktober, dan selanjutnya menghilang dengan cepat pada bulan November–Desember.

Kejadian DM bisa bersamaan dengan kejadian ENSO atau terjadi sendiri-sendiri. Bila El Niño bersamaan dengan DM positif maka Indonesia mengalami musim kering yang kuat.

Gambar 3.8a
(Kiri) Lokasi fenomena DM, Samudra Hindia bagian barat (A) dan bagian timur (kotak B).

Gambar 3.8b
(Bawah) DM Positif (kiri) dan DM Negatif (kanan).
(Sumber: http://www.jamstec.go.jp/frsgc/research/d1/iod/)

Sebaliknya, bila La Niña bersamaan dengan DM negatif maka Indonesia mengalami musim hujan di atas normal.

4. Sirkulasi *Thermohalin-Conveyor Belt*

Fenomena laut lainnya yang berperan dalam mengatur iklim global adalah sistem sirkulasi arus lapisan dalam. Di lapisan dalam di bawah permukaan laut terdapat suatu sirkulasi arus. Ia bergerak secara perlahan mengitari bumi yang dikenal sebagai sirkulasi termohalin. Termohalin terbentuk karena adanya gradien densitas secara vertikal. Sirkulasi ini diawali di daerah kutub akibat proses pendinginan dan pembentukan es di permukaan. Proses pendinginan dan pembentukan es mengakibatkan densitas air laut di permukaan menjadi besar dan berat. Karena massa air di permukaan lebih berat daripada di lapisan bawah maka massa air permukaan turun (*sinking*) dan menyebar ke lapisan dalam. Air yang turun (tenggelam) ini akan mencari level di mana densitasnya sama. Massa air dingin dan berat yang turun di daerah kutub ini kemudian bergerak ke arah ekuator. Karena adanya hukum kontinuitas atau hukum kekekalan massa air yang turun ke lapisan dalam harus diangkat kembali ke permukaan melalui proses *upwelling*.

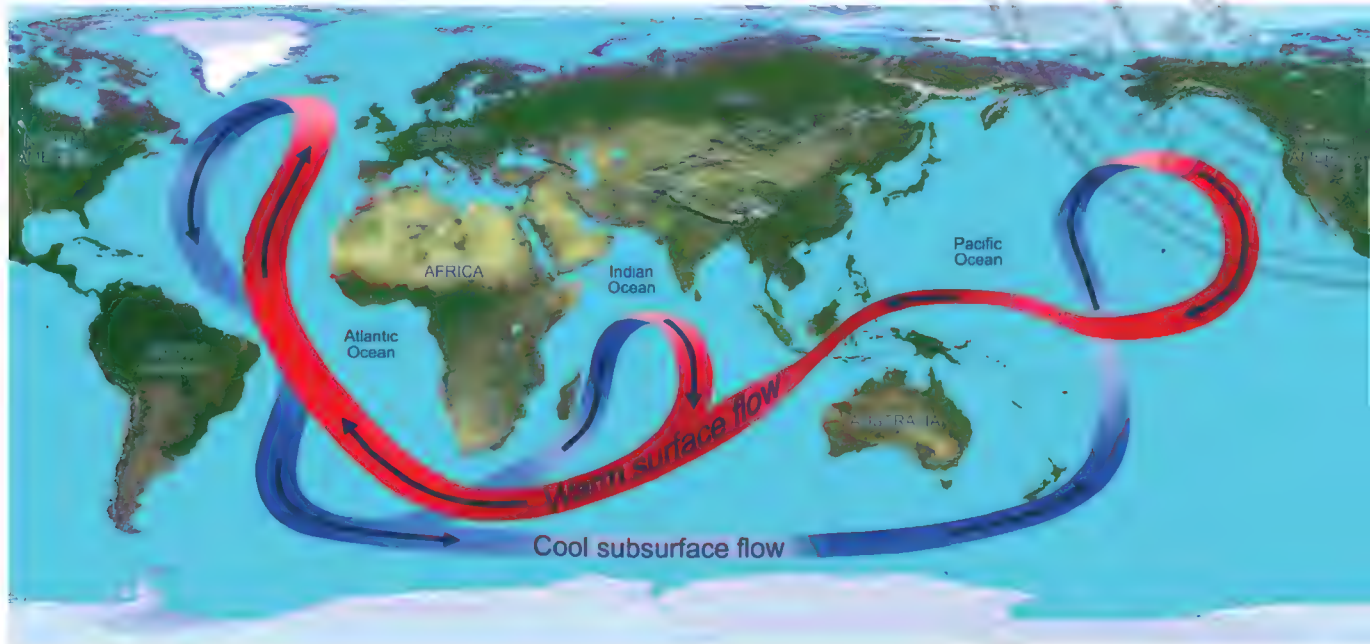
Di ekuator pemanasan yang tinggi menyebabkan densitas menjadi rendah, sehingga muka air di ekuator lebih tinggi dibanding di daerah kutub. Perbedaan tinggi muka air antara ekuator dan kutub ini akan menggerakkan arus di lapisan permukaan ekuator ke daerah kutub. Hal ini menyebabkan tertutupnya siklus gerakan massa air dari kutub menuju ekuator di lapisan dalam. Sirkulasi inilah yang disebut sebagai sirkulasi termohalin. Kombinasi proses pendinginan, pembentukan es di daerah kutub, dan pemanasan di ekuator berperan dalam pembentukan sirkulasi termohalin.

Sirkulasi termohalin yang merupakan sirkulasi lapisan dalam (*deep circulation*) membawa massa air dingin dari lintang tinggi pada musim dingin ke lintang rendah seluruh dunia. Sirkulasi ini mempunyai pengaruh yang sangat penting, antara lain:

a. Perbedaan yang kontras antara air lapisan dalam yang dingin dan air lapisan permukaan yang hangat menjadi penentu stratifikasi laut. Hal ini sangat memengaruhi dinamika laut.
b. Walaupun arus lapisan dalam ini sangat lemah, transpor massa yang dilakukannya sebanding dengan transpor massa di lapisan permukaan yang timbul akibat pengaruh angin, karena volume air lapisan

dalam jauh lebih besar daripada volume air lapisan permukaan.

c. Sirkulasi lapisan dalam memengaruhi neraca panas dan iklim dunia. Sirkulasi ini cukup bervariasi, dari puluhan tahun, abad, hingga milenium. Variabilitas ini diperkirakan memodulasi iklim dalam rentang periode tersebut. Laut mungkin penyebab utama dari variabilitas iklim dalam rentang waktu dari tahunan ke puluhan tahun, dan dapat membantu dalam memodulasi iklim pada zaman es.

Sirkulasi termohalin merupakan bagian dari sistem transpor panas yang dilakukan oleh laut. Untuk mempertahankan temperatur bumi, laut mentranspor setengah jumlah panas dari daerah tropis ke lintang tinggi. Panas yang dibawa oleh arus di Teluk Meksiko yang dikenal sebagai *Gulf Stream* dan *North Atlantic Drift* berperan dalam menghangatkan Eropa. *Gulf Stream* dan *North Atlantic Drift* membawa panas dari daerah tropis jauh ke Atlantik Utara dan di sana panas dan uap air dilepas ke atmosfer. Pelepasan panas ini membuat massa air yang dibawa *Gulf Stream* dan *North Atlantic Drift* ini menjadi dingin dan berat sehingga ia turun ke dasar laut Norwegia dan Greenland serta menyebar ke arah ekuator. Massa air yang turun dan menyebar dari Laut Norwegia dan Greenland ini kemudian diangkat ke permukaan melalui proses

Gambar 3.9
Global Conveyor Belt. *(Sumber: http://www.global-greenhouse-warming.com)*

upwelling di laut-laut yang lain dan akhirnya kembali ke *Gulf Stream* dan Atlantik Utara. Broker (1982) dalam Steward (2002) menyebut komponen laut dari sistem transpor panas ini sebagai *Global Conveyor Belt* (Gambar 3.9). *Conveyor Belt* merupakan kombinasi sistem arus permukaan yang dibangkitkan oleh angin dan sirkulasi termohalin. Sirkulasi arus permukaan merupakan sirkulasi arus hangat, sementara sirkulasi arus bawah permukaan merupakan sirkulasi arus dingin. []

BAB IV
LAUT SEBAGAI TANDA KEMAHAKUASAAN ALLAH

Laut merupakan salah satu tempat manusia mencari penghidupan. Laut tampak tak bertepi, kedalamannya bisa mencapai ribuan meter dan menyimpan air yang tak terhitung volumenya. Keanekaragamaan hayati dan bahan mineral yang tersimpan di bawah permukaan laut tak terbayangkan jumlahnya. Makhluk hidup seperti ikan terus bereproduksi dalam jumlah yang sangat banyak untuk menyediakan mata rantai makanan bagi aneka makhluk, termasuk manusia. Kalaupun terjadi saling memangsa, itu tidak seharusnya dilihat sebagai bentuk sadisme, melainkan suatu mekanisme yang dibuat oleh Allah agar keseimbangan hidup di alam tetap berlangsung.

Semua yang terdapat di laut diperuntukkan bagi kepentingan hidup umat manusia. Manusia yang berakal sehat tentunya akan sadar bahwa eksistensi laut dan aneka kehidupan di dalamnya pasti diciptakan oleh Yang Mahakuasa. Al-Qur'an dengan tegas menyebutkan bahwa Pencipta langit dan bumi adalah Allah. Pada Surah Ibrāhīm/14: 32 Allah berfirman,

اَللّٰهُ الَّذِيْ خَلَقَ السَّمٰوٰتِ وَالْاَرْضَ وَاَنْزَلَ مِنَ السَّمَاۤءِ مَاۤءً فَاَخْرَجَ بِهٖ مِنَ الثَّمَرٰتِ رِزْقًا لَّكُمْۚ وَسَخَّرَ لَكُمُ الْفُلْكَ لِتَجْرِيَ فِى الْبَحْرِ بِاَمْرِهٖۚ وَسَخَّرَ لَكُمُ الْاَنْهٰرَ

Allah-lah yang telah menciptakan langit dan bumi dan menurunkan air (hujan) dari langit, kemudian

dengan (air hujan) itu Dia mengeluarkan berbagai buah-buahan sebagai rezeki untukmu; dan Dia telah menundukkan kapal bagimu agar berlayar di lautan dengan kehendak-Nya, dan Dia telah menundukkan sungai-sungai bagimu. (Ibrāhīm/14: 32)

Orang yang berakal dapat merenungkan kemahakuasaan Allah. Laut adalah ciptaan Allah yang menakjubkan, terbentang luas seolah tak bertepi, menghubungkan antara satu tempat ke tempat lain, dengan mudah digunakan berlayar oleh aneka bentuk dan bobot kapal pengangkut barang, dari sampan-sampan kecil sampai kapal-kapal tanker, anjungan pengebor minyak lepas pantai, industri kelautan, dan berbagai macam keperluan yang dapat diperoleh. Dengan kata lain, langit dan bumi beserta seluruh isinya, pergantian siang dan malam, kemudahan mobilitas di lautan, fenomena hujan yang berperan menghijaukan bumi, dan reproduksi makhluk-makhluk di atasnya adalah tanda-tanda kebesaran dan kemahakuasaan Sang Pencipta. Allah berfirman,

إِنَّ فِي خَلْقِ السَّمٰوٰتِ وَالْأَرْضِ وَاخْتِلَافِ الَّيْلِ
وَالنَّهَارِ وَالْفُلْكِ الَّتِي تَجْرِي فِي الْبَحْرِ بِمَا يَنْفَعُ
النَّاسَ وَمَآ أَنْزَلَ اللّٰهُ مِنَ السَّمَآءِ مِنْ مَّآءٍ فَأَحْيَا بِهِ
الْأَرْضَ بَعْدَ مَوْتِهَا وَبَثَّ فِيهَا مِنْ كُلِّ دَآبَّةٍ ۖ
وَتَصْرِيفِ الرِّيٰحِ وَالسَّحَابِ الْمُسَخَّرِ بَيْنَ السَّمَآءِ
وَالْأَرْضِ لَاٰيٰتٍ لِّقَوْمٍ يَّعْقِلُوْنَ

Sesungguhnya pada penciptaan langit dan bumi, pergantian malam dan siang, kapal yang berlayar di laut dengan (muatan) yang bermanfaat bagi manusia, apa yang diturunkan Allah dari langit berupa air, lalu dengan itu dihidupkan-Nya bumi setelah mati (kering), dan Dia tebarkan di dalamnya bermacam-macam binatang, dan perkisaran angin dan awan yang dikendalikan antara langit dan bumi, (semua itu) sungguh, merupakan tanda-tanda (kebesaran Allah) bagi orang-orang yang mengerti. (al-Baqarah/2: 164)

Sebab turunnya ayat ini adalah adanya pengingkaran (penolakan maupun pertanyaan bersifat ingkar) dari para penyembah berhala terhadap keesaan Allah pada ayat sebelumnya (aṭ-Ṭabari, 1420 H: 3/268). Ayat di atas dengan sendirinya menjadi jawaban (sekaligus menjadi hujah) yang sangat jelas terhadap penolakan Islam pada keyakinan politeisme (syirik), dan memperkenalkan tauhid murni. Hanya Allah satu-satunya yang menciptakan seluruh alam ini dan mengaturnya sedemikian rupa sehingga manusia dengan mudah mengambil manfaat sebesar-besarnya dan mengambil pelajaran dari keteraturan alam tempat mereka hidup dan mencari penghidupan. Di planet tempat mereka tinggal, manusia telah disuguhi berbagai fenomena menakjubkan dari peristiwa alam

yang diatur dengan sistematis dan harmonis oleh Sang Maha Pencipta. Matahari yang bersinar memberi cahaya dan energi pada makhluk, oksigen yang melimpah tersedia di lapisan bumi, perputaran siang dan malam, ketersediaan sumber-sumber makanan di daratan maupun di lautan, semua bergerak menurut kehendak Allah. Al-Qur'an menyadarkan manusia tentang hal-hal yang sangat menakjubkan itu; bagaimana langit ditinggikan, bumi dihamparkan, unta dan hewan-hewan dari berbagai jenis diciptakan. Demikian juga lautan yang menyimpan aneka kebutuhan umat manusia, baik untuk konsumsi sehari-hari, perhiasan, maupun untuk komoditas berbagai hasil industri kelautan lainnya.

A. BATAS DUA LAUT

Fenomena laut hanyalah satu dari sekian banyak fenomena alam yang menakjubkan. Sepanjang manusia mau memfungsikan akalnya dengan baik untuk memikirkan betapa rumit dan teraturnya alam di sekitarnya, maka sepanjang itu pula ia akan terbimbing sampai kepada Pencipta (*al-Khāliq*). Terpikirkah oleh kita bahwa volume air laut yang senantiasa bergerak dapat memudahkan mobilitas di dalam dan di permukaannya, dan untuk menjaga suhu tetap stabil sehingga tidak ada lapisan yang panas terus-menerus, serta mampu membersihkan berbagai limbah alam yang masuk ke laut. Makhluk-makhluk berjasad renik baik di darat maupun di laut, bahkan beberapa di antaranya harus diperbesar beribu-ribu kali di bawah mikroskop untuk dapat dilihat wujudnya, ternyata mempunyai struktur tubuh layaknya makhluk lain, seperti jantung, paru, ginjal, aliran darah, dan organ-organ lain yang rumit. Semua itu menjadi bahan untuk meyakinkan manusia akan adanya Allah Yang Maha Esa yang menciptakan dan mengatur alam semesta. Kalau manusia sudah menyadari bahwa alam semesta, termasuk lingkungan tempat kita berada, adalah ciptaan Allah, maka seharusnya manusia tidak melakukan perusakan, tetapi berupaya melestarikannya. Allah memberi manusia kesempatan untuk memanfaatkan apa saja yang ada di bumi sepanjang tidak melakukan perusakan (*fasād*), melampaui batas (*isrāf*), dan *tabżīr*. Hal ini dalam rangka beribadah kepada-Nya. Laut adalah salah satu sumber pemenuhan kebutuhan hidup manusia yang melimpah atas kemurahan Allah.

Hal menakjubkan lain yang disebutkan Al-Qur'an berkaitan dengan laut adalah fenomena pertemuan dua laut dengan karakteristik berbeda. Masing-masing tetap pada karakteris-

tiknya, meskipun secara kasat mata bercampur oleh deburan gelombang. Terdapat beberapa ayat yang menjelaskan hal ini, antara lain Surah al-Furqān/25: 53. (Lihat juga Surah Fāṭir/35: 12, ar-Raḥmān/55: 19, an-Naml/27: 61, dan al-Kahf/18: 60–61)

وَهُوَ الَّذِيْ مَرَجَ الْبَحْرَيْنِ هٰذَا عَذْبٌ فُرَاتٌ وَّهٰذَا مِلْحٌ اُجَاجٌۚ وَجَعَلَ بَيْنَهُمَا بَرْزَخًا وَّحِجْرًا مَّحْجُوْرًا

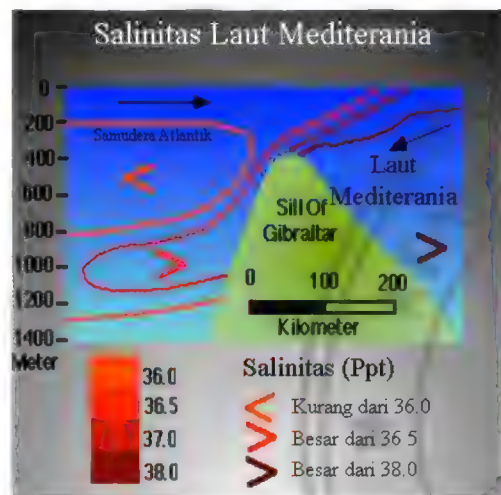
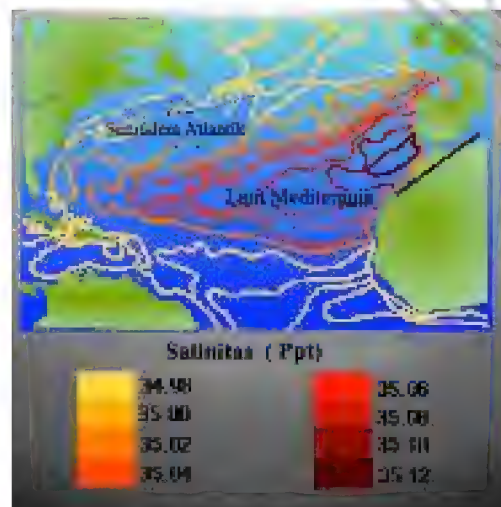
Dan Dialah yang membiarkan dua laut mengalir (berdampingan); yang ini tawar dan segar dan yang lain sangat asin lagi pahit; dan Dia jadikan antara keduanya dinding dan batas yang tidak tembus. (al-Furqān/25: 53)

Allah menggerakkan dua buah laut yang berbeda, yang satu tawar dan yang lainnya asin. Masing-masing bergerak berdampingan namun tidak mengalami percampuran. Hal ini merupakan nikmat bagi umat manusia (*al-Muntakhab*, tanpa tahun: 2/125). Berdasarkan penelitian, para ahli kelautan berhasil menyingkap adanya batas antara dua lautan yang berbeda. Mereka menemukan bahwa ada pemisah antara setiap lautan; pemisah itu bergerak di antara dua lautan dan dinamakan dengan *front* (*jabhah*), hal ini dianalogikan dengan *front* yang memisahkan antara dua pasukan. Dengan adanya pemisah ini setiap lautan memelihara karakteristiknya sesuai dengan makhluk hidup yang tinggal di lingkungan masing-masing. Di antara pertemuan dua laut itu terdapat lapisan-lapisan air pembatas yang memisahkan antara keduanya, dan berfungsi memelihara karakteristik khas setiap lautan dalam hal kadar berat jenis, kadar garam, biota laut, suhu, dan kemampuan melarutkan oksigen.

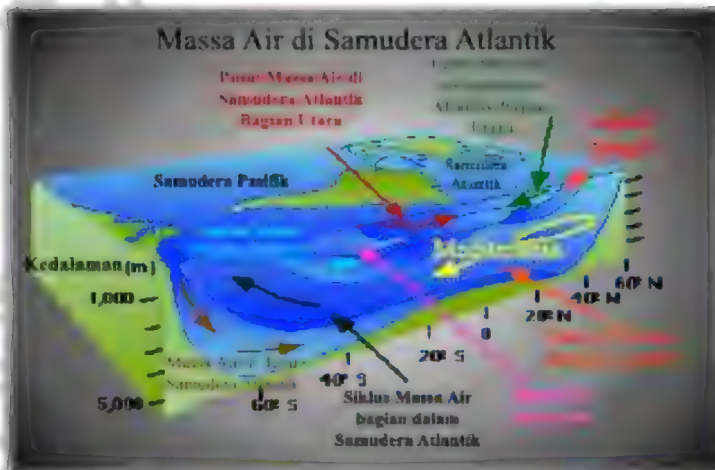
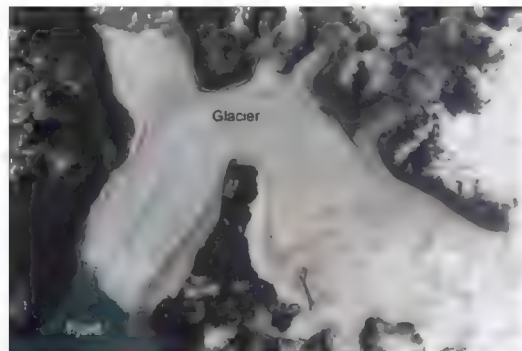
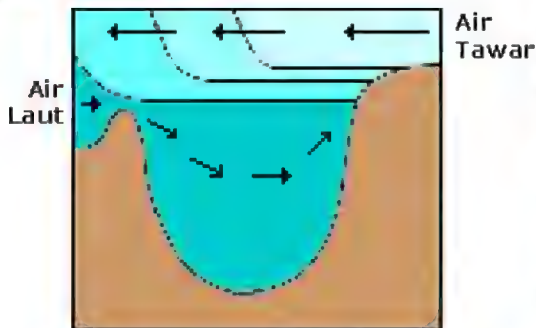
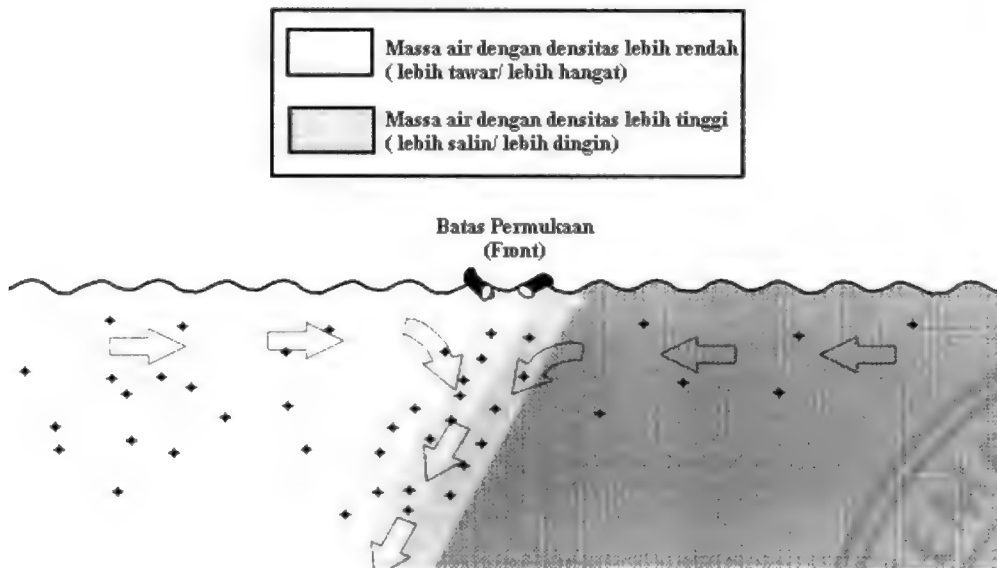
Secara saintifik dapat diterangkan alasan-alasan tidak bercampurnya kedua laut tersebut saat bertemu sehingga terdapat batas yang jelas yang memisahkan keduanya. Batas dua laut dapat berupa batas horizontal, yaitu ketika massa air laut yang satu berada di atas massa air laut yang lain, atau batas vertikal, yaitu ketika massa air laut yang satu berada di sisi massa air laut yang lain atau kedua laut itu berdampingan. Pertemuan dua laut dapat berupa pertemuaan massa air laut yang kurang asin dengan massa air laut yang lebih asin, atau seperti yang dinyatakan di dalam Surah al-Furqān/25: 53, massa air yang tawar bertemu dengan massa air yang asin.

Pertanyaan yang menarik untuk diajukan adalah mengapa bisa terbentuk bidang batas yang memisahkan kedua laut yang saling bertemu tersebut. Massa air laut ditentukan oleh nilai temperetur dan salinitas atau kadar garamnya. Temperatur dan salinitas bersama dengan tekanan air

laut yang ditentukan oleh kedalaman di mana massa air itu berada menentukan densitas atau rapat jenis massa air laut tersebut. Karena densitas massa air laut berbeda dari permukaan sampai ke dasar laut maka laut menjadi terstrasifikasi atau berlapis-lapis di mana massa air yang ringan berada di atas massa air yang berat. Kondisi laut yang berlapis-lapis ini membuat kolom air laut menjadi stabil, dan dapat mencegah gerakan vertikal dari partikel atau massa air. Hal ini mengakibatkan tidak terjadinya percampuran di antara lapisan-lapisan air yang densitasnya berbeda. Dengan demikian, air yang ringan tetap berada di atas air yang berat dan tidak saling bercampur. Percampuran secara horizontal juga akan dihambat bila terdapat perbedaan densitas yang besar dalam arah horizontal.

Contoh pertemuaan dua laut yang membentuk bidang pemisah yang horizontal adalah petemuan antara Laut Tengah atau Laut Mediterania yang asin dengan salinitas 38 ppt, dengan Lautan Atlatik Utara bagian timur yang kurang asin dengan salinitas 36 ppt. Massa air Laut Tengah yang asin dan berat mengalir melalui Selat Gibraltar memasuki Lautan Atlantik Utara bagian timur dan turun ke lapisan dalam, sampai ke kedalaman 1.500 m, kemudian menyebar secara horizontal di lapisan dalam Lautan Atlantik Utara bagian timur. Untuk mengimbangi gerakan massa air Laut Tengah memasuki Lautan Atlantik Utara di lapisan dalam, massa air Lautan Atlantik Utara yang ringan bergerak

Gambar 4.1
(Atas) Potongan melintang pergerakan massa air di Laut Tengah (Laut Mediterania) memasuki Lautan Atlantik Utara. (Bawah) Gerakan horizontal massa air Laut Tengah memasuki Lautan Atlantik Utara.
(Sumber:http://www.eng.warwick.ac.uk/staff/gpk/Teaching-undergrad/es427/rice.glacier.edu oceans/)

memasuki Laut Tengah di lapisan permukaan (Gambar 4.1).

Bidang batas horizontal yang memisahkan massa air yang berasal dari laut-laut yang berbeda dan bergerak di Lautan Atlantik diperlihatkan pada Gambar 4.2. Gambar 4.2 memperlihatkan batas-batas horizontal massa air yang bergerak di Lautan Atlantik yang tetap terjaga karena adanya stratifikasi air laut yang mencegah percampuran vertikal. Kita lihat masa air Laut Tengah, karena ia lebih berat, bergerak di bawah massa air Lautan Atlantik Utara. Kedua massa air tersebut dipisahkan oleh suatu bidang batas yang nyata.

Laut air yang tawar dan segar bertemu dengan laut yang asin dan pahit, atau massa air yang tawar bertemu dengan massa air yang asin dapat ditemui di muara sungai atau di estuari. Massa air sungai yang ringan (tawar) bergerak di atas air laut yang asin dan lebih berat. Bidang batas yang memisahkan air tawar dan air asin terbentuk kerena perbedaan densitas air sungai dan air laut yang mencegah percampuran vertikal.

Gambar 4.2
Massa air di Lautan Atlantik.
(Sumber:http://www.eng.warwick.ac.uk/staff/gpk/Teaching-undergrad/es427/rice.glacier.edu oceans/)

Gambar 4.3
Pertemuan massa air laut yang tawar dan massa air laut yang asin di daerah *fjord*.
(Sumber: http://dcm2.enr.state.nc.us)

Gambar 4.4
Batas horizontal atau *front* yang memisahkan dua massa air yang berbeda densitasnya.
(Sumber: http://ars.els-cdn.com/)

Kasus di mana laut yang tawar bertemu bertemu dengan laut yang asin ditemui di daerah *fjord* di mana di lapisan atas mengalir air tawar hasil pencairan *glacier* ke arah laut dan di lapisan bawah air laut yang asin bergerak memasuki *fjord* di lapisan dalam (Gambar 4.3).

Contoh lain pertemuan laut yang airnya tawar (mendekati tawar) dengan laut yang asin adalah pertemuan massa air yang berasal dari Laut Cina Selatan yang kurang asin dengan massa air Lautan Pasifik yang asin di perairan Laut Jawa.

Batas vertikal yang memisahkan dua massa air yang berbeda densitasnya ditemui di sebelah timur Kepulauan Jepang. Tempat terjadinya pertemuan antara arus Oyashio yang dingin dan bergerak ke selatan dengan arus Kuroshio yang hangat dan bergerak ke utara. Hal yang serupa ditemui di perairan Laut Agulhas, tempat terjadinya pertemuan massa air Lautan Atlantik Selatan yang kurang asin dengan massa air Lautan Hindia yang asin. Batas horizontal yang memisahkan dua laut yang berbeda densitasnya disebut juga sebagai *front* seperti diperlihatkan pada Gambar 4.4.

B. Ombak di Atas Ombak

Ombak di laut tidak saja terjadi di permukaannya, tetapi juga di bawah permukaan laut. Inilah yang dinyatakan di dalam Surah an-Nūr/24: 40 dengan

ungkapan "ombak yang di atasnya ada ombak". Allah berfirman,

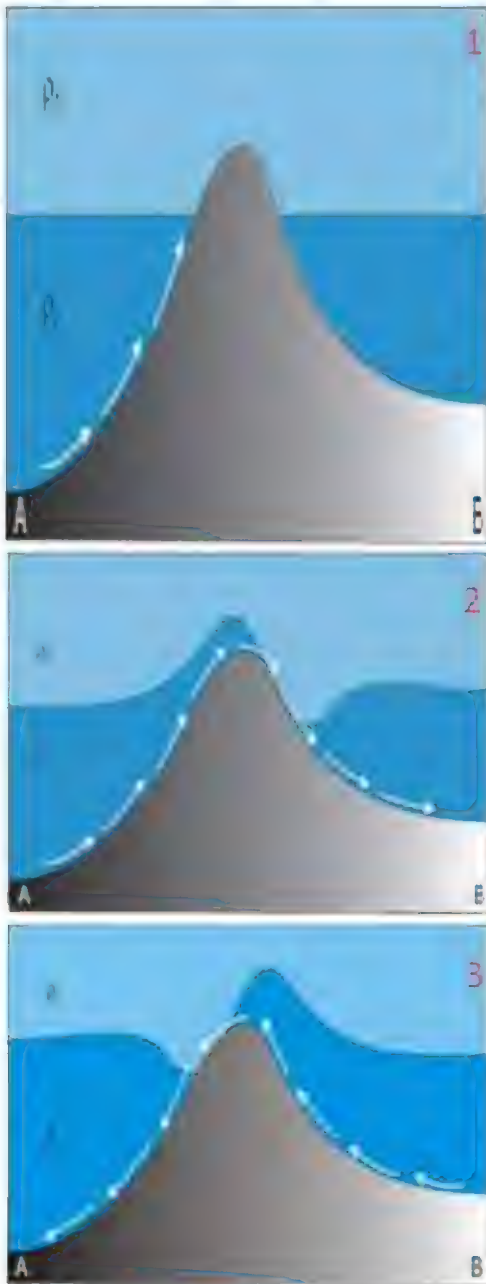
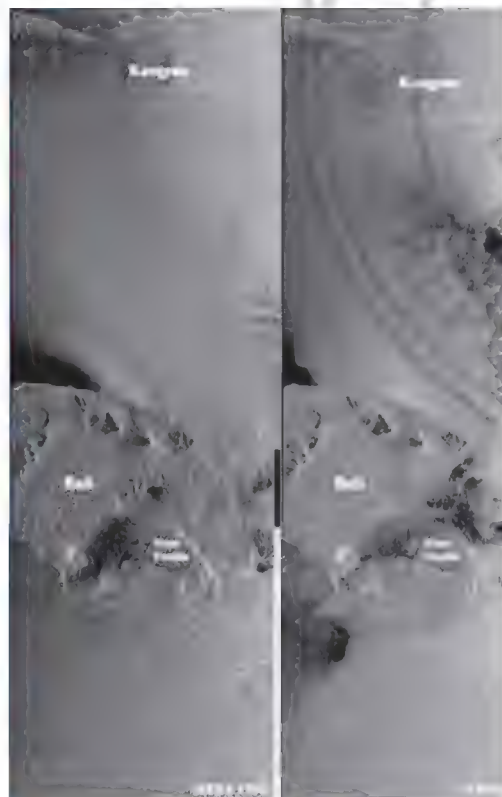
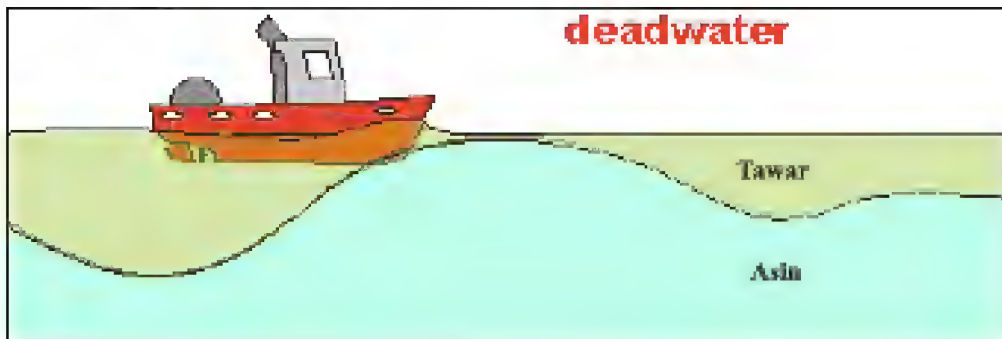
اَوْ كَظُلُمٰتٍ فِيْ بَحْرٍ لُّجِّيٍّ يَّغْشٰىهُ مَوْجٌ مِّنْ فَوْقِهٖ مَوْجٌ مِّنْ فَوْقِهٖ سَحَابٌۗ ظُلُمٰتٌۢ بَعْضُهَا فَوْقَ بَعْضٍۗ اِذَآ اَخْرَجَ يَدَهٗ لَمْ يَكَدْ يَرٰىهَاۗ وَمَنْ لَّمْ يَجْعَلِ اللّٰهُ لَهٗ نُوْرًا فَمَا لَهٗ مِنْ نُّوْرٍ

Atau (keadaan orang-orang kafir) seperti gelap gulita di lautan yang dalam, yang diliputi oleh gelombang demi gelombang, di atasnya ada (lagi) awan gelap. Itulah gelap gulita yang berlapis-lapis. Apabila dia mengeluarkan tangannya hampir tidak dapat melihatnya. Barangsiapa tidak diberi cahaya (petunjuk) oleh Allah, maka dia tidak mempunyai cahaya sedikit pun. (an-Nūr/24: 40)

Di permukaan laut ombak terjadi akibat pengaruh angin; energi dari angin ditransfer ke permukaan laut sehingga menimbulkan ombak atau gelombang laut. Gelombang yang dibangkitkan angin disebut *wind waves*. *Wind waves* ini terbagi dua, yaitu ombak yang masih dipengaruhi angin yang membangkitkannya atau masih berada di daerah pengaruh angin (*fetch*) yang disebut *sea*, dan gelombang yang telah berada di luar daerah pengaruh angin angin yang disebut *swell*. *Swell* inilah yang merambat keluar dari daerah pembentukannya di lepas pantai menuju pantai. Gelombang jenis inilah yang kita amati menjalar dan pecah di pantai.

Berbeda dengan *wind waves* atau gelombang permukaan, gelombang internal (*internal waves*) adalah gelombang yang terbentuk di lapisan bawah permukaan laut. Gelombang ini terbentuk akibat gangguan yang terjadi pada bidang antara (*interface*) yang memisahkan dua lapisan air yang mempunyai densitas yang berbeda. Gelombang internal ini dapat terbetuk di suatu estuari di mana aliran arus sungai menuju laut di permukaan jauh lebih kuat daripada aliran air laut di lapisan bawah yang bergerak memasuki sungai. Lapisan antara yang memisahkan air tawar di lapisan atas dan air asin di lapisan bawah terganggu oleh aliran air sungai yang kuat sehingga dapat membangkitkan gelombang internal di lapisan antara. Pada saat gelombang internal ini pecah air asin di lapisan bawah akan terangkat ke lapisan atas dan dibawa kembali oleh aliran air sungai ke laut. Karena ada sebagian dari air asin di lapisan bawah yang hilang akibat terbawa kembali ke laut oleh aliran air sungai maka kehilangan massa air asin ini harus diganti dengan massa air laut yang baru. Proses inilah yang mempertahankan sirkulasi di estuari tersebut di mana aliran air tawar mengalir di lapisan atas ke arah laut dan air asin mengalir ke arah hulu meskipun arus pasang surut lemah. Di

laut gelombang internal dapat terjadi di daerah-daerah yang memiliki bukit bawah laut (*sill*). Gelombang internal di daerah ini terbentuk akibat gangguan yang diberikan oleh arus pasut yang bergerak melewati *sill*. Saat arus pasut bergerak menuruni *sill* bidang antara yang memisahkan dua lapisan air laut yang berbeda densitasnya mendapat gangguan sehingga membentuk gelombang internal (Gambar 4.5).

Contoh dari gelombang internal yang terbentuk akibat pengaruh arus pasut ditemui di Selat Lombok. Gelombang internal di Selat Lombok ini bergerak ke arah utara (ke arah Laut Flores) dan ke arah selatan (ke

Gambar 4.5
Pembentukan gelombang internal oleh arus pasut.
(Sumber: Pujiana, 2005)

Gambar 4.6
Citra satelit gelombang internal di Selat Lombok.
(Sumber: Susanto, et.al, 2005)

Gambar 4.7
Gelombang internal yang dibangkitkan oleh propeler kapal. *(Sumber: www.wikipedia.org)*

arah Lautan Hindia) karena perubahan arah arus pasut. Amplitudo gelombang internal cukup besar dan dapat membahayakan anjungan lepas pantai. Di Selat Lombok tinggi gelombang internal tercatat 150 m. Keberadaan gelombang internal dapat dideteksi dari citra satelit. Keberadaan gelombang internal di Selat Lombok yang dideteksi oleh satelit diperlihatkan pada Gambar 4.6.

Gelombang internal ini dapat menghambat kapal yang bergerak perlahan. Peristiwa ini terjadi di Laut Arktik. Pada lapisan permukaan Laut Arktik terdapat suatu lapisan tipis air tawar hasil pencairan es, dan di bawahnya terdapat lapisan air asin (Gambar 4.7). Gelombang internal di Laut Arktik ini terbentuk akibat gangguan yang dilakukan oleh propeler kapal terhadap bidang antara yang memisahkan air tawar dan air asin.

Energi mekanik dari propeler yang biasanya digunakan untuk menggerakan kapal digunakan untuk menghasilkan dan mempertahankan gelombang internal, akibatnya kapal tidak bergerak. Kondisi ini disebut *dead water*. Namun, bila kecepatan kapal ditambah maka efek *dead water* ini akan hilang.

C. API DI BAWAH DASAR LAUT

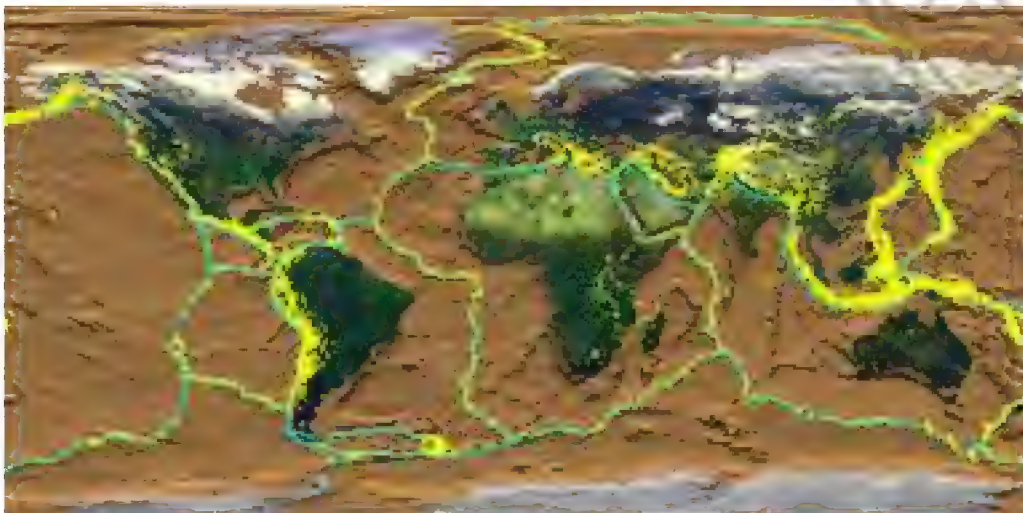
Dalam Surah aṭ-Ṭūr/52: 6 Allah berfirman,

Dan laut yang di dalam tanahnya ada api. (aṭ-Ṭūr/52: 6)

Bagi sebagian besar masyarakat, isi ayat di atas hanya bisa dibenarkan dengan keimanan, terlebih pada masa ayat tersebut diturunkan. Sifat api pada umumnya akan padam apabila disiram air. Sulit dibayangkan bagaimana api akan berada dalam keadaan terendam

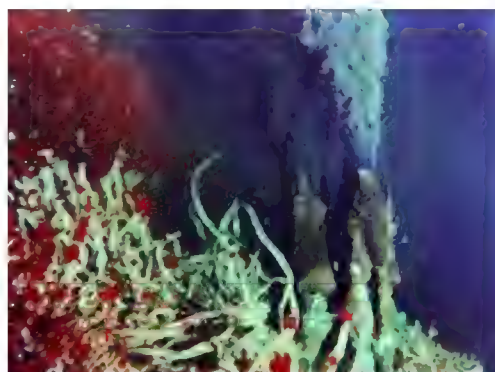
air, apalagi di dasar lautan yang dalam. Namun seiring dengan kemajuan ilmu pengetahuan dan teknologi ternyata banyak lokasi panas di dasar samudra yang suhunya beberapa kali lipat suhu api yang umum dijumpai di atas permukaan bumi.

Seperti telah dibahas pada Bab II, fenomena api di bawah dasar lautan tidak terlepas dari porses geologi yang melibatkan pergerakan lempeng-lempeng tektonik di permukaan bumi. Pada Gambar 4.8 tampak punggungan tengah samudra di berbagai lautan berimpit dengan batas antarlempeng. Pada batas antarlempeng terjadilah proses geologis yang sangat dinamis yang ditandai oleh rentetan gempa bumi, gunung api, termasuk proses mineralisasi yang sangat bermanfaat untuk manusia. Gambar 4.9 memperlihatkan punggungan tengah samudra terbentuk di dasar samudra, di mana magma pijar naik ke atas, dan dua lempeng samudra bergerak menjauhi punggungan tengah samudra dengan kecepatan 20 mm per tahun sebagai konsekuensi adanya mekanisme konveksi yang terjadi di dalam mantel bumi. Karena itu, pada bagian sumbu punggungan selalu terjadi batuan baru yang terbentuk akibat naiknya magma pijar ke lantai samudra. Semakin menjauhi punggungan tengah samudra, kita akan mendapatkan batuan yang relatif lebih tua umurnya.

Selain di punggungan tengah samudra, di beberapa tempat terdapat pula pembentukan gunung api bawah laut yang berhubungan dengan perte-

Gambar 4.8
Sebaran punggungan tengah samudra (*oceanic ridge*) yang berimpit dengan batas antarlempeng. Warna kuning adalah pusat-pusat gempa bumi yang terjadi baik di punggungan tengah samudra maupun di zona tumbukan.
(Sumber:http: //www.geos.ed.ac.uk /homes/ williams)

Gambar 4.9
Penampang punggung tengah samudra. Tampak material magma pijar naik ke lantai samudra dan lempeng-lempeng samudra saling menjauh.
(Sumber: palaeoblog.blogspot.com)

muan dua lempeng. Hal yang menarik adalah dijumpainya aktivitas hidrotermal bawah laut (*submarine hydrothermal activity*) yang berhubungan dengan pembentukan mineral sulida yang mengandung bijih emas, tembaga, seng, dan lainnya. Fenomena seperti ini dijumpai di Indonesia antara lain di wilayah timur, seperti di Laut Banda, Laut Maluku, dan Laut Sulawesi. Hasil riset bersama antara Indonesia dan Australia pada tahun 2001–2004 memperlihatkan sejumlah aktivitas hidrotermal bawah laut yang mengindikasikan adanya kandungan emas (Permana, 2004).

Hal menarik lainnya adalah adanya kehidupan di sekitar aktivitas hidrotermal. Seperti diketahui, pada kedalaman perairan yang sangat dalam, di mana sinar matahari tidak mampu menembus dan tekanan yang sangat tinggi, dijumpai cerobong-cerobong (*hydrothermal vents*) yang menjadi saluran keluarnya panas yang memfasilitasi hadirnya bakteri yang disebut *archaea*. Bakteri tersebut memiliki kemampuan mengubah senyawa kimiawi menjadi energi melalui proses

Gambar 4.10
Cerobong hidrothermal (*hydrothermal vents*) yang terjadi di dasar laut yang dalam. Di sekitarnya terdapat beragam kehidupan.
(Sumber: http://www.pnas.org)

chemosynthesis. Bakteri ini memicu rantai rantai makanan di sekitar cerobong-cerobong hidrotermal (http://marinelife.about.com/od/habitatprofiles/p/vents.htm)

D. LAUT BERLAPIS-LAPIS

Dalam Surah an-Nūr/24: 40 Allah berfirman,

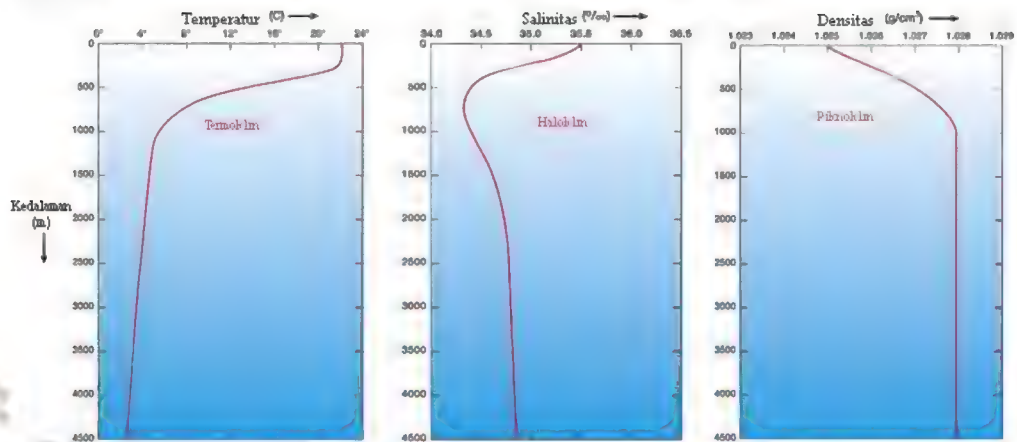
أَوۡ كَظُلُمَٰتٖ فِي بَحۡرٖ لُّجِّيّٖ يَغۡشَىٰهُ مَوۡجٞ مِّن فَوۡقِهِۦ
مَوۡجٞ مِّن فَوۡقِهِۦ سَحَابٞۚ ظُلُمَٰتُۢ بَعۡضُهَا فَوۡقَ بَعۡضٍ
إِذَآ أَخۡرَجَ يَدَهُۥ لَمۡ يَكَدۡ يَرَىٰهَاۗ وَمَن لَّمۡ يَجۡعَلِ ٱللَّهُ لَهُۥ نُورٗا
فَمَا لَهُۥ مِن نُّورٍ

Atau (keadaan orang-orang kafir) seperti gelap gulita di lautan yang dalam, yang diliputi oleh gelombang demi gelombang, di atasnya ada (lagi) awan gelap. Itulah gelap gulita yang berlapis-lapis. Apabila dia mengeluarkan tangannya hampir tidak dapat melihatnya. Barangsiapa tidak diberi cahaya (petunjuk) oleh Allah, maka dia tidak mempunyai cahaya sedikit pun. (an-Nūr/24: 40)

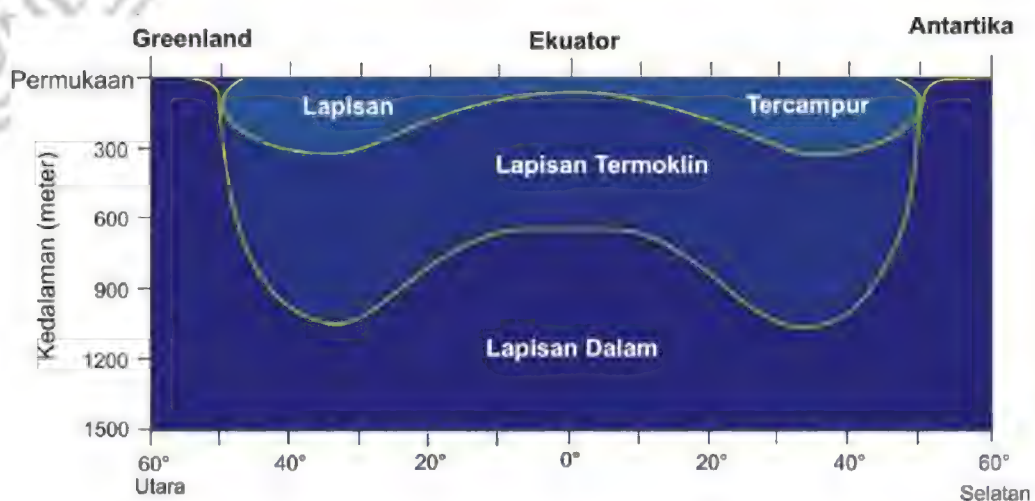
Ayat di atas menyebutkan bahwa pada kondisi laut yang gelap gulita terdapat gelombang yang berlapis. Air laut tidak homogen karena densitas air laut bervariasi dari permukaan sampai ke dasar laut. Densitas air laut merupakan fungsi dari temperatur, salinitas, dan tekanan. Karena temperatur, salinitas, dan tekanan bervariasi terhadap kedalaman maka densitas air laut bervariasi terhadap kedalaman. Hal ini menyebabkan laut menjadi terstratifikasi atau berlapis-lapis.

Jika ditinjau dari variasi temperatur terhadap kedalaman maka laut terbagi dalam tiga lapisan. *Pertama,* lapisan homogen atau disebut *mixed layer* di mana temperatur konstan terhadap kedalaman. *Kedua,* lapisan termoklin (*thermocline layer*) di mana temperatur berkurang dengan cepat terhadap kedalaman. *Ketiga,* lapisan dalam atau *deep layer* di mana temperatur berkurang dengan lambat terhadap kedalaman.

Berdasarkan variasi salinitas terhadap kedalaman, laut dapat dibagi dalam tiga lapisan. *Pertama,* lapisan homogen di mana salinitas konstan terhadap kedalaman. *Kedua,* lapisan haloklin (*halocline layer*) di mana salinitas bertambah/berkurang terhadap kedalaman. *Ketiga,* lapisan dalam di mana salinitas berkurang secara perlahan terhadap kedalaman.

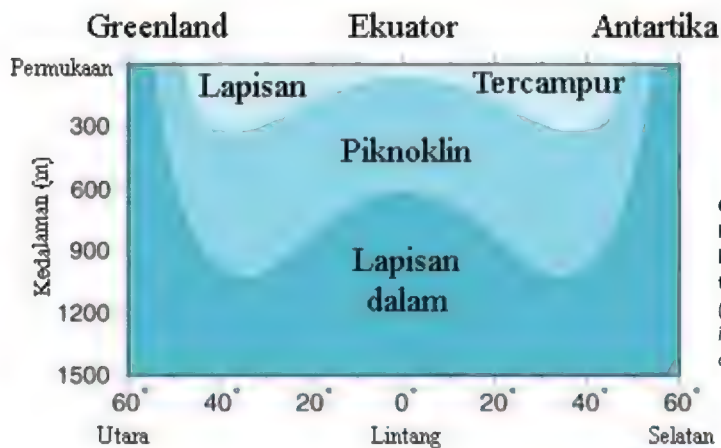
Dari sudut pandang variasi densitas terhadap kedalaman, laut dapat dibagi dalam tiga lapisan, yaitu lapisan homogen di mana densitas konstan terhadap kedalaman, lapisan piknoklin (*picnocline layer*) di mana densitas bertambah dengan cepat terhadap kedalaman, dan lapisan dalam di mana densitas berkurang dengan lambat terhadap kedalaman (Gambar 4.11).

Gambar 4.11
Lapisan air laut berdasarkan variasi temperatur, salinitas, dan densitas terhadap kedalaman.
(Sumber: http://www.hurricanescience.org/science/basic/water/)

Berbeda dari lapisan termoklin, yaitu ketika temperatur berkurang dengan cepat, lapisan haloklin dapat berupa lapisan di mana salinitas bertambah terhadap kedalaman ataupun berkurang terhadap kedalaman. Dengan demikian, lapisan haloklin adalah lapisan di mana terjadi perubahan yang cepat dari salinitas terhadap kedalaman. Di lintang rendah, kedalaman lapisan piknoklin sama dengan kedalaman lapisan termoklin, sementara di lintang menengah kedalaman lapisan piknoklin sama dengan kedalaman lapisan haloklin.

Gambar 4.12 memperlihatkan variasi kedalaman *mixed layer*, lapisan termoklin, dan lapisan dalam arah

Gambar 4.12
Variasi ketebalan *mixed layer*, termoklin, dan lapisan dalam. *(Sumber: adaptasi dari Pickard, 1965)*

utara-selatan. Terlihat di sini lapisan tercampur lebih tebal di lintang menengah daripada di ekuator, dan mengecil ke arah lintang tinggi dan tidak ada di daerah kutub. Lapisan tercampur yang tebal di lintang menengah ini dikarenakan pengaruh kekuatan angin yang lebih kuat di lintang menengah daripada di ekuator, dan dibantu oleh proses pendinginan yang membuat kolom air di lapisan permukaan menjadi tidak stabil sehingga memudahkan diaduk oleh angin.

Penampang melintang lapisan air laut berdasarkan densitas yang terdiri dari lapisan permukaan (*surface layer*) yang homogen, lapisan piknoklin, dan lapisan dalam (*deep layer*) diperlihatkan pada Gambar 4.13. Lapisan permukaan meliputi 2% air laut, lapisan piknoklin 12%, dan lapisan dalam 80%.

Berdasarkan ketersediaan cahaya di lapisan laut, laut terbagi dalam tiga lapisan, yaitu lapisan *euphotic* atau disebut juga *sunlight zone* (0–80 m), lapisan *disphotic* atau *twilight*

Gambar 4.13
Penampang melintang lapisan air laut berdasarkan variasi densitas terhadap kedalaman.
(Sumber: http://oceanmotion.org/images/ocean-vertical-structure_clip_image002.jpg)

Gambar 4.14
Lapisan air laut berdasarkan ketersediaan sinar matahari.
(Sumber: http://www.soc.soton.ac.uk/JRD/SCHOOL/mt/mt001b_2.html)

zone (80–200m), dan lapisan *aphotic* atau *midnight zone* (lebih besar daripada 200 m) (Gambar 4.14). Lapisan *euphotic* merupakan lapisan yang mendapat sinar matahari yang cukup banyak yang memungkinkan terjadinya proses fotosintesis oleh tanaman laut, termasuk fitoplankton. Terumbu karang dapat tumbuh dengan baik di lapisan ini. Lapisan *disphotic* merupakan lapisan yang kurang mendapat sinar matahari, dan lapisan *aphotic* adalah lapisan yang tidak mendapat sinar matahari atau lapisan yang gelap gulita. Inilah yang diungkapkan dengan "gelap gulita yang bertindih-tindih" dalam firman Allah pada Surah an-Nūr/24: 40. []

BAB V
LAUT SEBAGAI RAHMAT ALLAH

Adanya lautan yang luas atau samudra tak bertepi sebagai salah sumber air yang berlimpah di bumi bukanlah suatu kebetulan. Laut merupakan rahmat dan nikmat yang Allah karuniakan untuk kehidupan di bumi. Samudra luas yang menakjuban bukanlah sekadar genangan air raksasa yang memisahkan pulau-pulau dari daratan benua atau pemisah antarbenua, tapi ada bermacam-macam manfaat laut yang sangat berguna bagi keberlangsungan kehidupan di bumi. Tidak sedikit ayat dalam Al-Qur'an yang mengulas laut dari berbagai aspek, manfaat, dan kandungan yang ada di dalamnya.

Melimpahnya kadar air permukaan bumi amat berpengaruh terhadap kondisi iklim bumi. Andaikan daratan jauh lebih luas daripada samudra, kemungkinan perbedaan suhu antara

Gambar 5.1
Lautan, konservasi air terbesar. *(Sumber : abubakarmori.wordpress.com)*

siang dan malam akan lebih tinggi. Hal ini akan berdampak buruk terhadap kehidupan makhluk.

Dalam hal ini Allah berfirman,

اَفَرَءَيْتُمُ الْمَاۤءَ الَّذِيْ تَشْرَبُوْنَ ۗ ﴿٦٨﴾ ءَاَنْتُمْ اَنْزَلْتُمُوْهُ مِنَ الْمُزْنِ اَمْ نَحْنُ الْمُنْزِلُوْنَ ﴿٦٩﴾ لَوْ نَشَاۤءُ جَعَلْنٰهُ اُجَاجًا فَلَوْلَا تَشْكُرُوْنَ ﴿٧٠﴾

Pernahkah kamu memperhatikan air yang kamu minum? Kamukah yang menurunkannya dari awan ataukah Kami yang menurunkan? Sekiranya Kami menghendaki, niscaya Kami menjadikan¬nya asin, mengapa kamu tidak bersyukur? (al-Wāqi'ah/56: 68–70)

Ayat tersebut seolah bercerita tentang sebagian dari siklus air yang berjalan sempurna tanpa cela. 90% air yang menguap berasal dari air laut, yakni air garam yang rasanya asin. Dengan adanya teori penguapan, di mana air akan menguap ketika dipanaskan, dan adanya sifat kimia air, maka air laut yang asin menjadi air hujan yang tawar dan segar.

Dalam ilmu meteorologi dikenal istilah presipitasi sebagai salah satu komponen utama dalam siklus air, dan merupakan sumber utama air tawar di planet ini. Dari hasil pengamatan para ilmuwan diperkirakan ada sekitar 505.000 km³ air jatuh sebagai presipitasi setiap tahunnya, dan 398.000 km³ di antaranya jatuh di lautan. Didasarkan pada luasan permukaan bumi, besarnya presipitasi tahunan global adalah sekitar 1 m, atau jumlah presipitasi tahunan rata-rata di atas lautan diperkirakan sekitar 1,1 m. Oleh karena itu, manfaat laut dirasakan sangat penting bagi kelangsungan hidup di bumi, yang erat dengan fenomena iklim sehingga menjadikan bumi ini layak untuk dihuni.

Sudah menjadi ketetapan-Nya bahwa air hujan yang berasal dari laut menjadi sebab munculnya berbagai tumbuhan-flora di muka bumi. Semuanya diperlukan oleh manusia dan makhluk hidup lainnya sebagai rahmat dari Nya. Allah berfirman,

وَنَزَّلْنَا مِنَ السَّمَاۤءِ مَاۤءً مُّبٰرَكًا فَاَنْۢبَتْنَا بِهٖ جَنّٰتٍ وَّحَبَّ الْحَصِيْدِ

Dan dari langit Kami turunkan air yang memberi berkah lalu Kami tumbuhkan dengan (air) itu pepohonan yang rindang dan biji-bijian yang dapat dipanen. (Qāf/50: 9–11)

Tidak sedikit ayat Al-Qur'an yang menjelaskan bagaimana Allah menghidupkan bumi yang tandus dan mati melalui siraman air hujan. Kita dapat membaca misalnya Surah al-Furqān/25: 48–50 dan al-Mu'minūn/23: 18.

وَهُوَ الَّذِيْٓ اَرْسَلَ الرِّيٰحَ بُشْرًاۢ بَيْنَ يَدَيْ رَحْمَتِهٖۚ وَاَنْزَلْنَا مِنَ السَّمَاۤءِ مَاۤءً طَهُوْرًاۙ ﴿٤٨﴾ لِّنُحْيِ۟يَ بِهٖ بَلْدَةً

مَيْتًا وَّنُسْقِيَهٗ مِمَّا خَلَقْنَآ اَنْعَامًا وَّاَنَاسِيَّ كَثِيْرًا ﴿٤٩﴾
وَلَقَدْ صَرَّفْنٰهُ بَيْنَهُمْ لِيَذَّكَّرُوْاۖ فَاَبٰٓى اَكْثَرُ النَّاسِ
اِلَّا كُفُوْرًا ﴿٥٠﴾

Dan Dialah yang meniupkan angin (sebagai) pembawa kabar gembira sebelum kedatangan rahmat-Nya (hujan); dan Kami turunkan dari langit air yang sangat bersih, agar (dengan air itu) Kami menghidupkan negeri yang mati (tandus), dan Kami memberi minum kepada sebagian apa yang telah Kami ciptakan, (berupa) hewan-hewan ternak dan manusia yang banyak. Dan sungguh, Kami telah mempergilirkan (hujan) itu di antara mereka agar mereka mengambil pelajaran; tetapi kebanyakan manusia tidak mau (bersyukur), bahkan mereka mengingkari (nikmat). (al-Furqān/25: 48–50)

Semua terjadi sesuai kehendak dan ketetapan-Nya. Manfaat air lainnya diterangkan dalam firman Allah.

وَاَنْزَلْنَا مِنَ السَّمَاۤءِ مَاۤءًۢ بِقَدَرٍ فَاَسْكَنّٰهُ فِى الْاَرْضِۖ وَاِنَّا
عَلٰى ذَهَابٍۢ بِهٖ لَقٰدِرُوْنَ ۚ ﴿١٨﴾ فَاَنْشَأْنَا لَكُمْ بِهٖ جَنّٰتٍ
مِّنْ نَّخِيْلٍ وَّاَعْنَابٍۘ لَكُمْ فِيْهَا فَوَاكِهُ كَثِيْرَةٌ وَّمِنْهَا
تَأْكُلُوْنَ ۙ ﴿١٩﴾ وَشَجَرَةً تَخْرُجُ مِنْ طُوْرِ سَيْنَاۤءَ تَنْۢبُتُ
بِالدُّهْنِ وَصِبْغٍ لِّلْاٰكِلِيْنَ ﴿٢٠﴾

Dan Kami turunkan air dari langit dengan suatu ukuran; lalu Kami jadikan air itu menetap di bumi, dan pasti Kami berkuasa melenyapkannya. Lalu dengan (air) itu, Kami tumbuhkan untukmu kebun-kebun kurma dan anggur; di sana kamu memperoleh buah-buahan yang banyak dan sebagian dari (buah-buahan) itu kamu makan, dan (Kami tumbuhkan) pohon (zaitun) yang tumbuh dari gunung Sinai, yang menghasilkan minyak, dan bahan pembangkit selera bagi orang-orang yang makan. (al-Mu'minūn/23: 18–20)

Selain sebagai konservasi air terbesar di muka bumi, laut ataupun samudra menyimpan kekayaan alam yang melimpah ruah. Sekalipun kekayaan itu terus-menerus diambil dan dimanfaatkan untuk kepentingan manusia, namun sepertinya jumlahnya hampir tidak pernah berkurang. Aneka biota laut dapat melangsungkan dan melanjutkan kehidupannya secara alamiah sehingga keseimbangan ekosistem alam laut tetap terjaga. Proses regenerasi, seleksi alam, dan berbagai macam proses alamiah yang terjadi seperti "tangan-tangan" Allah yang istikamah menjaga keseimbangan alam, di daratan maupun di lautan. Beraneka jenis binatang laut dapat kita temukan di dalamnya. Allah berfirman,

وَهُوَ الَّذِيْ سَخَّرَ الْبَحْرَ لِتَأْكُلُوْا مِنْهُ لَحْمًا
طَرِيًّا وَّتَسْتَخْرِجُوْا مِنْهُ حِلْيَةً تَلْبَسُوْنَهَاۚ وَتَرَى
الْفُلْكَ مَوَاخِرَ فِيْهِ وَلِتَبْتَغُوْا مِنْ فَضْلِهٖ
وَلَعَلَّكُمْ تَشْكُرُوْنَ

Dan Dialah yang menundukkan lautan (untukmu), agar kamu dapat memakan daging yang segar (ikan) darinya, dan (dari lautan itu) kamu mengeluarkan perhiasan yang kamu pakai. Kamu (juga) melihat perahu berlayar padanya, dan agar kamu mencari sebagian karunia-Nya, dan agar kamu bersyukur. (an-Naḥl/16: 14)

Berbagai jenis ikan sebagai sumber protein yang dibutuhkan oleh tubuh manusia tersedia secara berlimpah, mulai dari jenis kakap, tuna, cakalang, kerapu, baronang, ekor kuning, dan lain sebagainya dapat kita peroleh di laut. Demikian pula udang, kerang, cumi, dan rumput laut selalu tersedia dan siap dimanfaatkan oleh manusia. Bahkan ada hewan sejenis kerang mutiara yang mampu menghasilkan butir mutiara yang indah yang dapat dipakai menjadi hiasan. Semua itu Allah sediakan bagi kehidupan manusia.

Begitu banyak sumber daya kekayaan alam yang dapat dimanfaatkan oleh manusia yang terkandung dalam lautan yang luas. Selain sebagai tempat mendapatkan bahan keperluan pangan sehari-hari, laut juga dapat menjadi sumber mata pencaharian, misalnya, bagi para nelayan. Bahkan, jika seluruh sumber kekayaan laut dapat dikelola dengan baik dan bijak justru ia dapat menjadi aset kegiatan ekonomi yang menguntungkan.

Dalam ayat yang lain Allah mengajak manusia berpikir untuk memperhatikan ciptaan-Nya. Hal ini sebagai bahan renungan agar manusia mengetahui dan memahami rahasia dibalik ciptaan-Nya.

اَلَمْ تَرَ اَنَّ الْفُلْكَ تَجْرِيْ فِى الْبَحْرِ بِنِعْمَتِ اللّٰهِ لِيُرِيَكُمْ مِّنْ اٰيٰتِهٖۗ اِنَّ فِيْ ذٰلِكَ لَاٰيٰتٍ لِّكُلِّ صَبَّارٍ شَكُوْرٍ

Tidakkah engkau memperhatikan bahwa sesungguhnya kapal itu berlayar di laut dengan nikmat Allah, agar diperlihatkan-Nya kepadamu sebagian dari tanda-tanda (kebesaran)-Nya. Sungguh, pada yang demikian itu terdapat tanda-tanda (kebesaran)-Nya bagi setiap orang yang sangat sabar dan banyak bersyukur. (Luqmān/31: 31)

Suatu proses pembelajaran yang dengannya manusia akan banyak mengetahui berbagai ilmu dan pengetahuan untuk kemudian dimanfaatkan baik untuk kesejahteraan hidupnya maupun untuk lebih mengenal akan kemahabesaran Allah, Sang Maha Pencipta. Pengetahuan manusia dapat diibaratkan sebutir pasir yang sangat kecil dibandingkan besarnya alam semesta. Masih banyak rahasia yang belum terungkap. Karenanya, manusia dituntut untuk senantiasa mengembangkan akal budinya agar mampu memahami pesan-pesan Allah yang ada di alam semesta ini. Dengannya pula diharapkan pada akhirnya manusia akan sadar sepenuhnya untuk selalu bersyukur kepada-Nya.

Laut juga dapat dimanfaatkan menjadi sarana tranportasi. Bagi negara maritim seperti Indonesia, alat transportasi seperti kapal mestinya menjadi pilihan utama karena perannya yang penting dalam menunjang perkembangan perekonomian negara. Bahkan dengan kapal selam dapat dilakukan penelitian pada bagian dalam lautan. Tidak sedikit temuan diperoleh

oleh para ilmuwan yang kelak dapat dimanfaatkan untuk menguak rahasia laut dalam (*deep sea*) yang masih penuh dengan misteri.

Indonesia memiliki banyak sekali taman-taman laut yang indah. Taman Laut Banda di Maluku, Bunaken dan Wakatobi di Sulawesi, Raja Ampat di Papua, Pulau Seribu di Jakarta; Bali, dan Lombok merupakan pusat rekreasi laut yang ada di Indonesia (Gambar 5.2). Berwisata ke laut atau pantai tentu bukan hal baru bagi kita. Laut memang menjadi salah satu alternatif tempat hiburan sambil menikmati pemandangan indah ciptaan-Nya.

Laut pun bisa dimanfaatkan sebagai sumber pembangkit tenaga listrik. Beberapa negara seperti Amerika Serikat, Rusia, Inggris, Perancis, Kanada, Jepang, Belanda, dan Korea telah mulai meneliti kemungkinan pemanfaatan energi dari laut, terutama gelombang,

Gambar 5.2
Terumbu karang di taman laut Bunaken, Sulawesi.
(Sumber: potretnusantara.wordpress.com)

Gambar 5.3
Pembangkit listrik tenaga ombak.
(Sumber: hydroworld.com)

pasang surut, dan panas laut dengan hasil yang memberi harapan cukup baik. Sebagai contoh, pembangkit listrik tenaga ombak berkapasitas daya 500 KW pernah diuji coba di lepas pantai barat Skotlandia (Gambar 5.3).

Dengan luas perairan hampir 60% dari total luas wilayah sebesar 1.929.317 km^2, Indonesia mempunyai potensi laut yang luar biasa, selain menjadi sumber pangan juga mengandung beraneka sumber daya energi. Para ahli menaruh perhatian terhadap laut untuk digunakan sebagai sumber daya energi alternatif.

Di dalam laut terdapat aneka ragam potensi, seperti ikan yang tak pernah habis, bahan tambang dan mineral, minyak dan gas, energi yang ditimbulkan dari air pasang surut, tenaga ombak, tenaga angin laut, serta

tenaga panas air laut. Semua ini adalah kekayaan yang belum teroptimalkan. Semua itu merupakan rahmat dari-Nya untuk dapat kita nikmati selaku hamba-Nya agar kita bersyukur.

A. LAUT SEBAGAI SUMBER PENGHIDUPAN MANUSIA

Kota-kota penting dunia pada umumnya tumbuh dan berkembang tidak jauh dari laut. Tumbuh dan berkembangnya pun relatif lebih cepat dibandingkan kota-kota yang letaknya jauh dari laut. Hal ini disebabkan oleh dekatnya kota-kota tersebut dengan laut sebagai sumber penghidupan, juga sebagai sarana tranportasi yang mendukung kegiatan perdagangan antardaerah.

Di Indonesia saja diperkirakan ada sekitar 140 juta atau hampir 60% penduduk yang bertempat tinggal di daerah pesisir. Tercatat pada tahun 2002 sebanyak 219 kabupaten/kota di Indonesia (atau 68%) di antaranya memiliki wilayah pesisir.

Wilayah pesisir pantai dan laut memiliki peran yang strategis dan penting. Ia tidak sekadar menjadi hunian yang nyaman, tetapi juga mendukung berbagai macam kegiatan usaha. Wilayah pesisir dan laut merupakan tempat yang memiliki kekayaan sumber daya alam yang sangat melimpah. Bagi masyarakat di wilayah seperti ini laut memang menjadi sumber mata pencaharian yang utama dan telah berlangsung berabad-abad lamanya.

Sejak dahulu laut telah menjadi sumber penghidupan manusia. Di dalamnya terdapat aneka macam biota laut yang terus-menerus berkembang sebagai bagian dari ekosistem dan persediaan konsumsi bagi manusia. Allah

Gambar 5.4
Pantai Senggigi, daerah pesisir.
(Sumber: nusantara-1.blogspot.com)

menakdirkan reproduksi makhluk-makhluk itu cepat dan berlimpah. Ikan memiliki telur berjuta-juta setiap kali masa reproduksi. Setelah menetas sebagian menjadi suplai makanan untuk ikan-ikan yang lebih besar sebagai bagian dari mata rantai kehidupan (ekosistem), dan sebagiannya lagi untuk menjadi santapan manusia sebagai sumber gizi hewani yang sangat diperlukan.

Laut menjadi tempat para nelayan mencari ikan dan hasil laut lainnya untuk konsumsi dan komoditas. Berbagai cara dan metode digunakan untuk memperoleh hasil laut, dari yang tradisional hingga modern. Laut sebagai sumber penghidupan dengan indah digambarkan Allah dalam firman-Nya,

وَهُوَ الَّذِيْ سَخَّرَ الْبَحْرَ لِتَأْكُلُوْا مِنْهُ لَحْمًا طَرِيًّا وَّتَسْتَخْرِجُوْا مِنْهُ حِلْيَةً تَلْبَسُوْنَهَاۚ وَتَرَى الْفُلْكَ مَوَاخِرَ فِيْهِ وَلِتَبْتَغُوْا مِنْ فَضْلِهٖ وَلَعَلَّكُمْ تَشْكُرُوْنَ

Dan Dialah yang menundukkan lautan (untukmu), agar kamu dapat memakan daging yang segar (ikan) darinya, dan (dari lautan itu) kamu mengeluarkan perhiasan yang kamu pakai. Kamu (juga) melihat perahu berlayar padanya, dan agar kamu mencari sebagian karunia-Nya, dan agar kamu bersyukur. (an-Naḥl/16: 14)

Dengan rahmat-Nya Allah telah mengaruniai manusia lautan yang di dalamnya tersimpan kekayaan alam yang melimpah. Semuanya diperuntukkan bagi kesejahteraan manusia. Dengan menggunakan perahu manusia dapat berlayar mengelilingi bumi menuju tempat-tempat jauh yang dia sukai, untuk menjemput rezeki masing-masing yang sudah ditetapkan-Nya. Allah berfirman,

رَبُّكُمُ الَّذِيْ يُزْجِيْ لَكُمُ الْفُلْكَ فِى الْبَحْرِ لِتَبْتَغُوْا مِنْ فَضْلِهٖۗ اِنَّهٗ كَانَ بِكُمْ رَحِيْمًا

Tuhanmulah yang melayarkan kapal-kapal di lautan untukmu, agar kamu mencari karunia-Nya. Sungguh, Dia Maha Penyayang terhadapmu. (al-Isrā'/17: 66)

Ayat ini mengandung makna yang dalam, berkaitan dengan cara-cara manusia mendapatkan rezeki berupa kekayaan alam ataupun rahasia di balik kekayaan yang tersimpan di lautan. Dalam hal ini Allah memerintahkan manusia untuk berupaya mengembangkan ilmu pengetahuannya agar dapat mengambil manfaat laut. Tidak terbatas hanya pada daging (ikan) segar, tetapi juga mineral, tambang, obat-obatan, dan sebagainya. Sampai saat ini laut masih belum banyak dapat dimanfaatkan secara maksimal. Hanya dengan ilmu pengetahuan yang didasari rasa syukur kepada Allah yang akan membawa manusia pada

kehidupan yang sejahtera, penuh keberkahan, baik dunia maupun akhirat.

Selain itu, ayat di atas menyebutkan dua hasil laut, yaitu daging (ikan) yang segar dan perhiasan. Menurut az-Zamakhsyari, penyebutan daging ikan yang segar hakikatnya merupakan sebutan yang mewakili semua jenis bahan pangan yang dihasilkan oleh laut dan dapat dikonsumsi oleh manusia. Sejak dahulu sampai sekarang laut telah menyediakan berbagai bahan pangan untuk manusia dengan berlimpah. Tidak hanya berbagai jenis ikan, tetapi masih ada kerang, tiram, udang, cumi, dan makanan laut lainnya, termasuk garam disediakan oleh laut sebagai bahan makanan yang mudah dijangkau dengan gizi bermutu tinggi.

Allah telah menjamin pula kehalalan ikan-ikan yang hidup di laut sebagaimana dapat dipahami dari Surah al-Mā'idah/5: 96 berikut.

أُحِلَّ لَكُمْ صَيْدُ الْبَحْرِ وَطَعَامُهُ مَتَاعًا لَّكُمْ وَلِلسَّيَّارَةِ ۚ وَحُرِّمَ عَلَيْكُمْ صَيْدُ الْبَرِّ مَا دُمْتُمْ حُرُمًا ۗ وَاتَّقُوا اللَّهَ الَّذِي إِلَيْهِ تُحْشَرُونَ

Dihalalkan bagimu binatang buruan laut dan makanan (yang berasal) dari laut sebagai makanan yang lezat bagimu, dan bagi orang-orang yang dalam perjalanan; dan diharamkan atasmu (menangkap) binatang buruan darat, selama kamu dalam ihram. dan bertakwalah kepada Allah yang kepada-Nyalah kamu akan dikumpulkan. (al-Mā'idah/5: 96)

Ikan laut kaya akan kandungan gizi yang dibutuhkan oleh tubuh. Selera makan dapat dibangkitkan dengan memakan telur ikan. Vitamin A dan D terdapat dalam organ-organ ikan, terutama hati. Kalsium, zat besi, dan fosfor terdapat dalam tulang ikan yang bermanfaat untuk tulang dan pertumbuhan gigi anak. Mengonsumsi ikan laut sejak dini dapat meningkatkan perkembangan dan kecerdasan otak anak serta dapat mencegah datangnya beberapa penyakit degeneratif.

Salah satu kandungan gizi yang sangat penting pada ikan laut adalah omega-3 (EPA dan DHA). Beberapa jenis ikan laut dengan kandungan omega-3 yang banyak dijual di pasaran Indonesia adalah tuna, tongkol, tengiri, ikan layang, kembung, dan lemuru. Dari penelitian para ilmuwan diperoleh gambaran hasil bahwa rata-rata orang yang mengonsumsi ikan akan relatif lebih sehat dan terhindar dari serangan jantung dibandingkan mereka yang tidak mengkonsumsi ikan. Ikan merupakan sumber nutrisi penting yang memiliki unsur-unsur yang berguna bagi tubuh. Kandungan asam omega-3 dalam ikan jika dikonsumsi secara teratur akan mengurangi risiko serangan jantung dan memperkuat sistem kekebalan tubuh.

Yang dimaksud dengan buruan laut ialah binatang yang diperoleh

dengan jalan mengail, memukat, dan sebagainya. Termasuk dalam pengertian laut di sini adalah sungai, danau, kolam, dan sebagainya.

a. Pengertian ikan atau binatang laut yang diperoleh dengan mudah dikarenakan ketika ditemukan dalam keadaan telah mati, terapung, atau terdampar di pantai dan sebagainya.
b. Para nelayan atau siapa pun dapat menangkap ikan di laut dengan berbagai cara yang mudah sepanjang tidak merusak lingkungan habitat tempat makhluk-makhluk itu berkembang biak secara alami. Demikian pula memungut ikan-ikan yang telah mati mengapung untuk dikonsumsi sepanjang tidak berbahaya bagi kesehatan, misalnya karena tercemar oleh berbagai logam berat (*mercury*) maupun zat berbahaya lainnya. Mengonsumsi sesuatu yang berbahaya adalah hal yang dilarang oleh Allah, sebagaimana dapat dibaca dalam Surah al-Baqarah/2: 195.

Penelitian yang dilakukan pada bangsa Eskimo menunjukan bahwa penduduk setempat jarang dijumpai menderita penyakit jantung. Mereka banyak mengonsumsi ikan, antara 300–400 gram per hari. Begitu juga bangsa Jepang, khususnya masyarakat Okinawa; jumlah pengidap penyakit jantung di antara mereka jauh lebih rendah daripada penduduk daerah lainnya, karena penduduk Okinawa banyak mengkonsumsi ikan.

Indonesia sangat kaya akan hasil laut, khususnya ikan. Data dari Kementerian Kelautan dan Perikanan menyebutkan potensi sumber daya ikan laut Indonesia diperkirakan sebesar 6,408 juta ton per tahun, yang terdiri dari pelagis besar sekitar 1,165 juta ton per tahun, pelagis kecil sekitar 3,605 juta ton per tahun, demersal sekitar 0,145 juta ton per tahun, dan udang, termasuk cumi-cumi, sekitar 0,128 juta ton per tahun.

Dilihat dari konteks Wilayah Pengelolaan Perikanan (WPP) ini potensi sumber daya perikanan terbesar terdapat di WPP 1 (Samudra Hindia), di mana tercatat memiliki potensi sumber daya perikanan sebesar 1.076.890 ton per tahun, diikuti oleh WPP 2 (Laut Cina Selatan) sebesar 1.057.050 ton per tahun, sedangkan potensi sumber daya perikanan terkecil terdapat di WPP 1 (Selat Malaka), yaitu hanya sebesar 276.030 ton per tahun. Sayangnya, pola konsumsi ikan masyarakat kita masih sangat rendah. Pola makan ikan harus terus disosialisasikan agar menjadi menu harian, mengingat ikan sangat baik untuk kesehatan.

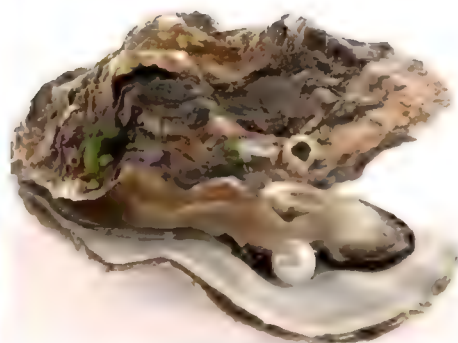
Dalam ayat lainnya Allah berfirman,

وَمَا يَسْتَوِى الْبَحْرٰنِۖ هٰذَا عَذْبٌ فُرَاتٌ سَآىِٕغٌ شَرَابُهٗ وَهٰذَا مِلْحٌ اُجَاجٌۗ وَمِنْ كُلٍّ تَأْكُلُوْنَ لَحْمًا طَرِيًّا وَّتَسْتَخْرِجُوْنَ حِلْيَةً تَلْبَسُوْنَهَاۚ وَتَرَى الْفُلْكَ فِيْهِ مَوَاخِرَ لِتَبْتَغُوْا مِنْ فَضْلِهٖ وَلَعَلَّكُمْ تَشْكُرُوْنَ

Dan tiada sama (antara) dua laut; yang ini tawar, segar, sedap diminum dan yang lain asin lagi pahit. dan dari masing-masing laut itu kamu dapat memakan daging yang segar dan kamu dapat mengeluarkan perhiasan yang dapat kamu memakainya, dan pada masing-masingnya kamu Lihat kapal-kapal berlayar membelah laut supaya kamu dapat mencari karunia-Nya dan supaya kamu bersyukur. (Fāṭir/35: 12)

Kata perhiasan (*ḥilyah*) pada ayat di atas berkaitan dengan mutiara (*lu'lu'*) dan marjan. Ayat di atas pun merupakan penjelasan tentang hasil laut yang dapat menjadi komoditas ekonomis yang bernilai tinggi. Kerang ataupun tiram mutiara adalah hewan laut penghasil mutiara yang paling umum dibudidayakan untuk diambil mutiaranya. Mutiara alami berkualitas terbaik sangat dihargai sebagai batu permata dan telah menjadi objek keindahan selama berabad-abad (Gambar 5.5). Karenanya, kata "mutiara" telah menjadi metafora untuk sesuatu yang sangat langka, baik, mengagumkan, dan berharga.

Hampir semua moluska bercangkang bisa menghasilkan mutiara melalui proses alami. Ketika suatu objek mikroskopis, pasir atau benda padat lainnya, terperangkap di dalam mantel lipatan moluska, secara bertahap objek tadi terbungkus semacam lendir atau *nacre* sehingga jadilah mutiara (Gambar 5.6). Di alam, mutiara terbentuk akibat adanya *irritant* yang masuk ke dalam mantel kerang mutiara.

Gambar 5.5
Perhiasan mutiara. *(Sumber: kabar24.com)*

Gambar 5.6
Tiram dan mutiara. *(sumber: cepolina.com)*

Mutiara yang terbentuk tanpa intervensi manusia sama sekali sangat jarang terjadi. Karenanya, hanya untuk menemukan satu mutiara liar manusia harus memilih satu per satu dari sekian banyak kerang yang diperoleh dari laut. Itulah satu-satunya cara untuk memperoleh mutiara. Mungkin hal ini pula yang menjadi alasan utama mengapa mutiara menjadi barang yang sangat berharga pada masa lalu. Adapun mutiara budi daya merupakan salah satu jenis mutiara yang dibentuk dengan campur tangan manusia yang dilakukan di sebuah peternakan mutiara (Gambar 5.7).

Barang-barang berharga yang dieksplorasi dari laut telah dikenal lama. Nabi Sulaiman telah mempekerjakan makhluk-makhluk gaib sebangsa jin untuk menyelam ke dasar lautan guna mengambil batuan permata yang bernilai sangat tinggi untuk memperindah istana (*haikal*) Sulaiman. Hal ini dapat dipahami dari firman Allah, misalnya Surah al-Anbiyā'/21: 82,

وَمِنَ الشَّيٰطِيْنِ مَنْ يَّغُوْصُوْنَ لَهٗ وَيَعْمَلُوْنَ عَمَلًا دُوْنَ ذٰلِكَ ۚوَكُنَّا لَهُمْ حٰفِظِيْنَ

Dan (Kami tundukkan pula kepada Sulaiman) segolongan setan-setan yang menyelam (ke dalam laut) untuknya dan mereka mengerjakan pekerjaan selain itu; dan Kami yang memelihara mereka itu. (al-Anbiyā'/21: 82)

Dalam menafsirkan ayat ini Sayyid Quṭb mengemukakan bahwa salah satu pengkhidmatan jin kepada Nabi Sulaiman yang diberikan Allah adalah

Gambar 5.7
Budi daya "mutiara" di Kepulauan Aru, Maluku.
(Sumber: muhditernate.wordpress.com/)

kemampuannya menyelam sampai ke dasar samudra dan masuk ke lapisan-lapisan bumi untuk mengeluarkan isi kandungannya yang sangat berharga (Quṭb, t.th.: 5/167). Hal ini menunjukkan bahwa di dasar laut terkandung banyak barang-barang yang dapat dieksplorasi dan dieksploitasi bagi kepentingan umat manusia. Allah mudahkan manusia untuk memperoleh sumber daya laut yang amat sangat dibutuhkan, seperti berbagai biota laut dan sejenisnya. Sementara barang-barang yang lebih mahal harganya untuk keperluan semisal perhiasan diletakkan Allah agak ke dalam sehingga memerlukan lebih banyak usaha untuk memperolehnya, karena kebutuhan terhadap benda-benda itu tidak bersifat *ḍarūriyyāt* (*emergency*, mendesak), tapi hanya sekadar *taḥsīniyyāt* (aksesori).

Laut ataupun samudra merupakan sebuah ekosistem besar yang menjadi tempat hidup berbagai macam biota laut, dari yang berukuran kecil hingga yang berukuran besar, yang hidup di pesisir hingga yang hidup di laut dalam. Perubahan kondisi laut yang terjadi di masa lalu hingga saat ini dengan berbagai interaksi sesama biota laut merupakan faktor yang berpengaruh terhadap daya adaptasi pada biota laut. Kemampuan adaptasi biota laut yang berlanjut dalam jangka waktu lama yang akhirnya menjadi sebuah evolusi menjadikan keanekaragaman biota laut menjadi semakin berkembang dan tinggi. Selain itu, laut dengan berbagai kondisi fisik, kimia, dan topografi telah menjadikan biota laut yang hidup di dalamnya semakin beragam.

Di wilayah perairan Indonesia ditemukan keragaman biota laut yang begitu tinggi. Mulai dari ikan, moluska, krustasea, alga, hingga karang, kesemuanya ditemukan di perairan laut Indonesia dengan jenis yang sangat beragam. Diperkirakan ada lebih dari 500 jenis karang yang hidup di perairan Indonesia, khususnya di perairan laut wilayah timur Indonesia. Kondisi demikian memungkinkan biota laut lain yang hidup pada ekosistem terumbu karang semakin beragam dan bahkan masih belum banyak diketahui.

Begitu besar jumlah sumber daya kekayaan alam yang tersimpan dalam lautan. *Cencus of Marine Life* (CoML), sebuah organisasi kemitraan ilmiah yang melibatkan lebih dari 500 institusi dan donatur dari lebih dari 80 negara di Afrika, Asia, Australia, Eropa, Amerika Utara dan Selatan, Ocenia, termasuk Indonesia, dan melibatkan sekitar 2.700 ilmuwan (Wagey, 2012), memperkirakan jumlah spesies di lautan dunia saat ini mencapai 950 ribu spesies. Daftar spesies tersebut termasuk biota laut yang potensial untuk

dikembangkan sebagai alternatif bahan atau sumber makanan. Bahkan dari jumlah itu, 200 ribu spesies telah dideskripsikan. Selebihnya potensial dideskripsikan yang memungkinkan untuk diteliti dan dianalisis apakah berpotensi menjadi spesies baru. Namun, dari jumlah spesies tersebut yang telah dimanfaatkan sampai saat ini hanya sekitar 1%.

Saat ini dunia sedang menghadapi masalah serius dengan meningkatnya konsumsi pangan. Hal ini diakibatkan bertambahnya jumlah populasi dan peningkatan konsumsi masyarakat di negara-negara berkembang. Produk pangan yang dihasilkan di daratan diperkirakan tidak akan cukup untuk memenuhi kebutuhan pangan manusia untuk beberapa tahun ke depan, sementara banyak sumber pangan laut yang belum dimaksimalkan pemanfaatannya. Lautan yang menjadi sumber penghidupan manusia masa depan baru dieksplorasi sekitar 8 persennya saja. Adalah tantangan bagi kita untuk mengeksplorasi laut melalui pemanfaatan sains dan teknologi yang memadai agar dapat diperoleh data yang akurat dan terukur, sehingga biota laut sebagai sumber pangan alternatif pilihan yang tepat dapat dilakukan.

Hasil penelitian sementara diketahui bahwa biota laut juga potensial untuk menjadi pengganti sumber protein dan karbohidrat yang dibutuhkan tubuh. Misalnya dari rumput laut dan teripang dapat menjadi sumber pangan alternatif, karena kandungan proteinnya.

Di samping sebagai bahan pangan alternatif ternyata ada juga beberapa jenis biota laut yang dapat menjadi bahan obat-obatan dan kosmetik yang memiliki nilai ekonomis yang tinggi. Telah banyak usaha dilakukan oleh peneliti-peneliti untuk menemukan sesuatu yang baru dari biota-biota laut. Awal dari penelitian yang tak kenal lelah ini adalah ketika ditemukannya senyawa bioaktif baru dari biota laut dan tidak pernah ditemukan dari biota darat.

Seiring dengan perkembangan zaman, upaya penelitian terus dilakukan untuk mengungkap kandungan bahan obat apa saja yang ada pada berbagai jenis biota laut. Hal ini sejalan dengan penelitian-penelitian tentang obat-obatan yang terus dilakukan, mengingat semakin banyaknya jenis-jenis penyakit yang bermunculan akhir-akhir ini. Dari penelitian diperoleh lebih dari 10.000 senyawa bioaktif yang telah berhasil diisolasi dari biota laut, dan sekitar 300 paten dari senyawa tersebut telah berhasil dipublikasikan. Penemuan senyawa-senyawa bioaktif baru dari laut ini memiliki potensi sebagai bahan baku

Tabel 5.1
Senyawa bioaktif berasal dari beberapa jenis biota laut.

No.	Senyawa Bioaktif	Biota Asal	Bahan Obat Penyakit	CATATAN
1	LAF389 asam amino	*Spons Jaspis cf.coriacea*		
2	Bryostatin-1 (asam amino)	*Spons Bugula neritina*		
3	Dolastatin-10 (peptida)	*Moluska Dolabella auricularia*		
4	Discodermolide (poliketida)	spons *Discoderma sp*		
5	Squalamine lactate (aminosteroid)	*Ikan hiu Squalus acanthias*		
6	Ziconotide dan AM336 (peptida)	*Molusca*	kronis	
7	(+)-8-hydroxymanzamine A	*Spons Pachypelina sp*	tuberkulosis	sangat manjur untuk mengatasi *Mycrobacterium tuberculosis.*

(sumber: irfanainsteinsilalahi.wordpress.com)

obat yang memberi harapan baru bagi penanganan berbagai jenis penyakit yang masih belum ditemukan obatnya.

Tabel 5.1 menyajikan jenis biota laut yang dapat digunakan untuk pengobatan beberapa jenis penyakit.

Meski demikian, masih banyak potensi biota laut yang belum terungkap, sebagaimana dijelaskan oleh Dr. Rokhmin Dahuri, mantan Guru Besar IPB. Berikut jenis-jenis biota laut yang sangat berpotensi untuk digarap. *Sponges* dan karang lunak (*soft corals*) mengandung berbagai jenis senyawa bioaktif yang bermanfaat sebagai obat antikanker, antibakteri, antiasma, antifouling. Senyawa bioaktif lainnya dari *sponges* yang juga digunakan untuk industri farmasi adalah *bastadin*, *okadaic acid*, dan *monoalide*. Senyawa bioaktif *monoalide* yang diperoleh dari *sponge Luffariella variabilis* merupakan senyawa yang memiliki nilai jual tinggi, mencapai harga US$ 20,000/miligram.

Beberapa jenis mikroalga juga memiliki potensi menghasilkan bahan bioaktif, misalnya *Spirulina*. Bahan tersebut telah diproduksi secara komersial. *Spirulina* juga memiliki kandungan lengkap vitamin dan mineral. *Spirulina* memiliki tiga pigmen yang kaya akan protein, yaitu *phycosianin*, klorofil, dan zeasantin. *Phycosianin* yang merupakan antioksidan larut air berkhasiat

menunjang kesehatan hati dan ginjal; *zeasantin* berkhasiat untuk kesehatan mata; dan klorofil adalah antioksidan yang bersifat antikanker dan antiracun. *Spirulina* (nama lain: *Artrosphira*) adalah tumbuhan dengan struktur sel yang sederhana. Dia adalah organisme nabati renik (tumbuhan air mikroalga) yang hidup pada medium air tawar hingga air laut; memiliki dimensi tebal 0,1 μm dan panjang 10–200 μm; berbentuk spiral dengan jumlah sinusoid 10 hingga puluhan kali; secara alamiah hidup di laut maupun danau alkali; dan berwarna hijau kebiruan (kandungan *pycocyanin*). Alga ini termasuk golongan *Cyanobacteria* dan merupakan anggota famili *oscillatoriaceae*, juga termasuk salah satu organisme fotosintesis pertama di dunia dan telah hidup sejak 3,5 miliar tahun yang lalu. Terdapat lebih dari 50 spesies *Spirulina*. Dua spesies yang populer di antaranya dikembangbiakkan, yakni *Spirulina platensis* dan *Spirulina maxima*.

Selain mikroalga, masih banyak biota laut di Indonesia yang mengandung bahan-bahan bioaktif yang bermanfaat bagi industri kosmetik, kesehatan, makanan, dan berbagai industri lainnya. Jenis invertebrata laut seperti *tunicate* (*Tridemnum sp*) misalnya mengandung bahan aktif untuk penyembuhan penyakit leukimia, B-16 *melanoma*, dan M5076 *sarcoma*. Tempurung kura-kura dan penyu diekstrak untuk obat luka dan tetanus; ekstrak kuda laut untuk penenang atau obat tidur dan sebagai obat kuat semacam viagra. Empedu ikan buntal, yang dulu berbahaya/beracun dan dapat membuat pengonsumsinya meninggal karena substansi bioaktif tetrodotoksin, kini sudah dapat dimanfaatkan sebagai obat untuk memperbaiki saraf otak yang rusak dan sebagai zat anestesi bagi pasien yang akan dioperasi.

Sementara itu, pemanfaaatan limbah krustasea seperti udang, kepiting, rajungan, dan lobster menjadi khitin dan khitosan telah banyak digunakan dalam industri kertas, tekstil, bahan perekat, bahan pengelat, dan obat penyembuh luka. Salah satu terobosan bioteknologi dalam pemanfaatan limbah udang yang menjadi isu nasional pada awal tahun 2006 yaitu ditemukannya pengganti formalin oleh khitosan dari limbah kulit udang. Tidak seperti formalin, khitosan dari limbah kulit udang aman bagi tubuh karena bersifat nontoksik dan mampu membentuk tekstur makanan menjadi lebih baik. Dengan demikian, selain dapat mengawetkan makanan, khitosan juga mampu menjaga mutu produk yang dinginkan.

Omega-3 juga dikenal sebagai produk bioteknologi yang berasal dari

minyak ikan. Omega-3 mempunyai fungsi vital dalam meningkatkan tingkat kecerdasan serta menjaga kesehatan jantung dan persendian. Kandungan EPA (*Eicosa Pentanoic Acid*) dan DHA (*Dokosa Hexanoic Acid*) dalam Omega-3 merupakan rantai karbon tak jenuh yang berkhasiat juga untuk menurunkan kadar kolesterol dalam darah.

Filum Ecinodermata laut yang sedang menjadi primadona saat ini di Indonesia dan Malaysia adalah timun laut atau teripang (gamat). Biota bergenus *Holoturia sp.* ini selain memiliki rasa yang lezat juga memiliki khasiat mujarab untuk obat karena kandungan asam amino esensialnya yang lengkap. Secara tradisional teripang telah digunakan dalam pengobatan Cina sejak ribuan tahun silam. Teripang sebagai obat berkhasiat mengatasi penyakit sirosisi hati, mioma, dan penyakit-penyakit yang menyebabkan pengerasan dan pembengkakan organ tubuh. Selain itu, teripang berkhasiat membantu proses penyembuhan stroke, asma, diabetes melitus, jantung koroner, hepatitis, psoriasis, asam urat, dan radang sendi/osteoarthritis. Kandungan kolagen, MPS (*mucopolisacarida*), EPA, dan DHA menjadi rahasia di balik khasiat teripang dalam menyembuhkan penyakit-penyakit itu. Sayangnya, meski Indonesia memiliki keragaman spesies yang tinggi (dari 1.200 spesies teripang, 200 di antaranya hidup di Indonesia), namun masih belum ada industri pengolahan teripang yang tangguh dengan produk hulu-hilirnya.

Mengingat potensi biota laut sebagai sumber pangan alternatif (termasuk bahan obat-obatan), dan maraknya isu ancaman terhadap ekosistem laut yang disebabkan oleh perubahan iklim, *overfishing*, dan *illegal fishing*, sudah sepatutnya langkah antisipatif disiagakan untuk mengatasinya. Pengelolaan ekosistem yang baik, bijak, dan terpadu kiranya menjadi bagian yang dipentingkan agar kehidupan biota laut dapat berlangsung dengan sehat untuk mencegah kepunahan atau terjadinya degradasi ekosistem laut. Indonesia yang merupakan negara kepulauan terbesar di dunia, dengan *megabiodiversity*, sudah sepatutnya berkepentingan untuk memastikan kelestarian sumber daya laut yang berkontribusi sebagai sumber penghidupan, mengingat hampir 140 juta jiwa penduduknya hidup di wilayah pesisir.

Semoga suatu harapan akan terwujud dengan izin-Nya, senafas dengan pesan firman-Nya, sebagaimana telah disebutkan dalam Surah al-Baqarah/2: 164 di atas, bahwa kapal yang berlayar di laut kelak akan membawa muatan

yang bermanfaat bagi kehidupan manusia, antara lain berupa hasil "panen laut" yang ditangani secara bijak. Pewujudan harapan adalah suatu perjuangan. Perjuangan yang relevan untuk saat ini adalah bagaimana kita mengembangkan ilmu pengetahuan dan teknologi yang diperlukan agar kemurahan yang telah dilimpahkan Allah dapat dimanfaatkan manusia dengan sebaik-baiknya guna membangun kesejahteraan yang pernuh keberkahan.

B. LAUT SEBAGAI SARANA TRANSPORTASI

Laut adalah ciptaan Allah yang sungguh menakjubkan. Ia terbentang luas seakan tidak bertepi, menghubungkan daratan benua yang satu dengan benua lainnya. Pulau-pulau kecil yang letaknya jauh terpencil pun dapat dirambahnya. Air laut yang merupakan cairan-fluida dengan sifatnya yang khas Dia ciptakan untuk berbagai tujuan dan kepentingan manusia. Dengannya kapal, perahu, dan bahtera dapat melaju dengan mudah, bergerak meluncur di permukaannya (Gambar 5.8).

1. Air Laut Bersifat Kohesif

Sifat air laut yang lunak mudah terurai atau dipisahkan oleh benda padat, seperti kapal dan perahu yang terbuat dari kayu atau besi, adalah sifat istimewa yang dimiliki oleh zat cair pada umumnya. Sifat ini menjadi sunatullah atau hukum Allah, yang menjadi ketetapan bagi-Nya.

Dalam kaidah ilmu fisika dan kimia, seperti halnya benda-benda di alam, semua terbentuk dari bangunan atom atau molekul. Begitu pula dengan molekul air laut dibangun oleh atom hidrogen dan oksigen yang bentuk murni keduanya berupa gas yang mudah terbakar atau meledak. Bentuk ikatan yang terdiri 2 atom hidrogen

Gambar 5.8
Transportasi laut. *(pancangnibung.wordpress.com)*

dan 1 atom oksigen bergabung membangun molekul air dalam bentuk ikatan kovalen, dengan rumus kimia H_2O.

Gaya kohesi, yakni gaya tarik-menarik antarmolekul yang sama, pada air lebih lemah daripada gaya kohesi pada benda padat. Hal ini berpengaruh pada kerapatan dan jarak antarmolekulnya. Karenanya air mudah dipisah atau ditembus oleh benda padat, seperti kapal, sehingga dengan mudah melaju membelah permukaan air.

Sungguh Allah telah memudahkan manusia untuk memanfaatkan lautan yang luas bagi kepentingan dalam kehidupan mereka. Allah menjelaskan hal ini dalam firman-Nya,

وَهُوَ الَّذِيْ سَخَّرَ الْبَحْرَ لِتَأْكُلُوْا مِنْهُ لَحْمًا طَرِيًّا وَّتَسْتَخْرِجُوْا مِنْهُ حِلْيَةً تَلْبَسُوْنَهَاۚ وَتَرَى الْفُلْكَ مَوَاخِرَ فِيْهِ وَلِتَبْتَغُوْا مِنْ فَضْلِهٖ وَلَعَلَّكُمْ تَشْكُرُوْنَ

Dan Dialah yang menundukkan lautan (untukmu), agar kamu dapat memakan daging yang segar (ikan) darinya, dan (dari lautan itu) kamu mengeluarkan perhiasan yang kamu pakai. Kamu (juga) melihat perahu berlayar padanya, dan agar kamu mencari sebagian karunia-Nya, dan agar kamu bersyukur. (an-Naḥl/16: 14)

Manusia senantiasa berupaya menjemput rezeki untuk mempertahankan kelangsungan hidupnya. Mereka mengerahkan segala kemampuannya, menempuh jarak yang begitu jauh, untuk memenuhi kebutuhan mereka. Potensi mobilitas seperti ini yang senantiasa mendorong manusia untuk mencari jalan keluar atau menciptakan suatu kemudahan untuk pencapaian lokasi tujuan. Pada mulanya, untuk mencapai tujuan yang dekat mereka menempuhnya cukup dengan berjalan kaki atau menunggang hewan peliharaan seperti kuda, keledai, atau unta. Seiring dengan kebutuhan yang semakin bertambah, manusia menciptakan dan mengembangkan berbagai teknologi transportasi yang diperlukan, mulai dari yang sederhana sampai ke tingkat teknologi canggih dan supercepat.

Berbeda dari jenis kendaraan darat dan udara, jenis kendaraan air secara operasional lebih mudah dan sederhana karena tidak memerlukan prasarana khusus seperti jalan atau landasan pacu. Berbagai jenis alat transportasi air seperti kapal, perahu, sampan, rakit, dan sejenisnya, dari yang sederhana hingga ke yang supercanggih, dengan mudah dapat dioperasikan di laut.

Sejak dulu manusia sudah mampu mengarungi lautan luas hanya dengan menggunakan perahu tanpa mesin, cukup dengan dayung atau layar yang dikembangkan (Gambar 5.9). Tenaga

Gambar 5.9
Perahu layar, alat transportasi tradisional.
(Sumber: expeditionnews.blogspot.com)

anginlah yang mendorong perahu tadi menuju tempat tujuan; subhanallah. Mari kita perhatikan firman-firman Allah berikut.

رَبُّكُمُ الَّذِيْ يُزْجِيْ لَكُمُ الْفُلْكَ فِى الْبَحْرِ لِتَبْتَغُوْا مِنْ فَضْلِهٖ ۗاِنَّهٗ كَانَ بِكُمْ رَحِيْمًا

Tuhanmulah yang melayarkan kapal-kapal di lautan untukmu, agar kamu mencari karunia-Nya. Sungguh, Dia Maha Penyayang terhadapmu. (al-Isrā'/17: 66)

اَللّٰهُ الَّذِيْ سَخَّرَ لَكُمُ الْبَحْرَ لِتَجْرِيَ الْفُلْكُ فِيْهِ بِاَمْرِهٖ وَلِتَبْتَغُوْا مِنْ فَضْلِهٖ وَلَعَلَّكُمْ تَشْكُرُوْنَ

Allah-lah yang menundukkan laut untukmu agar kapal-kapal dapat berlayar di atasnya dengan perintah-Nya, dan agar kamu dapat mencari sebagian karunia-Nya dan agar kamu bersyukur. (al-Jāṡiyah/45: 12)

Hanya dengan rahmat Allah perahu dapat bergerak dengan mudah di laut sebagai alat transportasi bagi manusia untuk mencari keuntungan melalui perdagangan dan sebagainya (*al-Muntakhab*, tanpa tahun: 1/478). Penggunaan kata *taskhīr* dalam ayat-ayat yang berbicara tentang transportasi laut diartikan sebagai kemudahan alat-alat transportasi itu mengarungi laut lepas. Di atas permukaan air, dengan bantuan angin, perahu dan kapal buatan manusia melaju dengan mudah. Menurut Ibnu 'Āsyūr, makna Allah menundukkan kapal (*sakhkhara lakum al-fulk* seperti tersebut pada Surah Ibrāhīm/14: 32) adalah memudahkan kapal berlayar di permukaan laut dengan memberi ilham (intuisi) kepada manusia untuk merancang bangun kapal dengan bentuk dan sistem yang memudahkannya bergerak di air tanpa hambatan (tenggelam) (Ibnu 'Āsyūr, 2000: 12/258). Air laut memiliki berat jenis rata-rata lebih berat yang memungkinkan berbagai benda mengapung dengan mudah.

Air laut juga mudah terbelah dengan tetap menahan beban perahu atau kapal yang dirancang oleh manusia dengan sistem yang dapat dan mudah bergerak melaju di atas air meskipun membawa penumpang dan

barang. Antara prasarana (laut atau sungai) dan kapal, keduanya bersinergi memudahkan manusia bermobilitas melalui laut. Karena itulah Al-Qur'an menggunakan ungkapan *taskhīr al-baḥr* (an-Naḥl/16: 14, al-Jāṡiyah/45: 12), *taskhīr al-anhār* (Ibrāhīm/14: 32), dan *taskhīr al-fulk* (Ibrāhīm/14: 32, al-Ḥajj/22: 65). Istilah 'menundukkan' atau memudahkan bahtera dalam berlayar sebagai sarana transportasi di lautan atau di sungai sebagai prasarana pelayaran dapat dipahami dari berbagai ayat, antara lain Surah Ibrāhīm/14: 32 sebagai berikut.

اَللّٰهُ الَّذِيْ خَلَقَ السَّمٰوٰتِ وَالْاَرْضَ وَاَنْزَلَ مِنَ السَّمَاۤءِ مَاۤءً فَاَخْرَجَ بِهٖ مِنَ الثَّمَرٰتِ رِزْقًا لَّكُمْ ۚ وَسَخَّرَ لَكُمُ الْفُلْكَ لِتَجْرِيَ فِى الْبَحْرِ بِاَمْرِهٖ ۚ وَسَخَّرَ لَكُمُ الْاَنْهٰرَ

Allah-lah yang telah menciptakan langit dan bumi dan menurunkan air hujan dari langit, kemudian Dia mengeluarkan dengan air hujan itu berbagai buah-buahan menjadi rezeki untukmu; dan Dia telah menundukkan bahtera bagimu supaya bahtera itu, berlayar di lautan dengan kehendak-Nya, dan Dia telah menundukkan (pula) bagimu sungai-sungai.(Ibrāhīm/14: 32)

Kemudahan lain yang diperoleh dengan menggunakan prasarana laut sebagai tempat berlayarnya kapal-kapal adalah jasa bintang. Di malam gelap para nakhoda dapat mengetahui posisi dan arah perjalanan melalui rasi bintang, sebelum peralatan navigasi elektronik ditemukan. Para nelayan maupun kapal-kapal yang belum dilengkapi instrumen navigasi modern tentu masih tetap mengandalkan posisi bintang-bintang di langit yang menjadi petunjuk posisi dan waktu di tengah lautan yang gelap. Bintang-bintang di langit berfungsi sebagai petunjuk arah bagi pelayaran kapal-kapal di laut diisyaratkan oleh Al-Qur'an dengan sangat jelas, seperti tertera pada Surah al-An'ām/6: 97 berikut.

وَهُوَ الَّذِيْ جَعَلَ لَكُمُ النُّجُوْمَ لِتَهْتَدُوْا بِهَا فِيْ ظُلُمٰتِ الْبَرِّ وَالْبَحْرِۗ قَدْ فَصَّلْنَا الْاٰيٰتِ لِقَوْمٍ يَّعْلَمُوْنَ

Dan Dialah yang menjadikan bintang-bintang bagimu, agar kamu menjadikannya petunjuk dalam kegelapan di darat dan di laut. Kami telah menjelaskan tanda-tanda (kekuasaan Kami) kepada orang-orang yang mengetahui. (al-An'ām/6: 97)

Bintang-bintang di tengah lautan begitu diperlukan ketika pada permukaan laut tidak ada yang dapat menjadi petunjuk arah. Dalam kegelapan malam, ketika tidak ada lagi daratan yang tampak, yang terlihat hanyalah bintang-bintang yang menghiasi langit yang dapat memberi petunjuk arah. Benda-benda langit seperti matahari, bulan, dan bintang menjadi sangat penting di lautan karena benda-benda

Gambar 5.10
Bahtera Nuh di Bukit Judi; bahtera pertama. *(Sumber: heritagedaily.com)*

angkasa itulah yang secara alamiah diciptakan Allah untuk setia muncul dan tampak dalam pelayaran di tengah samudra nan luas.

Pada awalnya manusia menggunakan alat angkutan air untuk mengarungi sungai atau lautan. Pada masa lampau manusia biasa menggunakan menggunakan kano, rakit, ataupun perahu. Seiring makin besarnya kebutuhan akan daya muat, dibuatlah perahu atau rakit yang berukuran lebih besar. Bahan-bahan yang digunakan untuk pembuatan kapal pada masa lampau adalah kayu, bambu, atau batang-batang kayu. Sejalan dengan berkembangnya ilmu pengetahuan dan teknologi, digunakanlah bahan-bahan logam seperti besi/baja, sehingga kapal menjadi lebih kokoh dan kuat.

Ide awal manusia untuk membuat kapal berupa perahu yang besar mungkin saja berhubungan erat dengan turunnya wahyu Ilahi melalui perintah-Nya kepada Nabi Nuh. Allah berfirman,

فَأَوْحَيْنَآ إِلَيْهِ أَنِ اصْنَعِ الْفُلْكَ بِأَعْيُنِنَا وَوَحْيِنَا فَإِذَا جَآءَ أَمْرُنَا وَفَارَ التَّنُّورُ فَاسْلُكْ فِيهَا مِن كُلٍّ زَوْجَيْنِ اثْنَيْنِ وَأَهْلَكَ إِلَّا مَن سَبَقَ عَلَيْهِ الْقَوْلُ مِنْهُمْ وَلَا تُخَاطِبْنِي فِي الَّذِينَ ظَلَمُوٓا إِنَّهُم مُّغْرَقُونَ

Lalu Kami wahyukan kepadanya, "Buatlah kapal di bawah pengawasan dan petunjuk Kami, maka apabila perintah Kami datang dan tanur (dapur) telah memancarkan air, maka masukkanlah ke dalam (kapal) itu sepasang-sepasang dari setiap jenis, juga keluargamu, kecuali orang yang lebih dahulu ditetapkan (akan ditimpa siksaan) di antara mereka. Dan janganlah engkau bicarakan

dengan-Ku tentang orang-orang yang zalim, sesungguhnya mereka itu akan ditenggelamkan. (al-Mu'minūn/23: 27)

Dari perspektif ilmu pengetahuan, sampai saat ini lokasi terdamparnya bahtera Nabi Nuh masih merupakan kesimpulan sementara, yaitu Gunung Judi, tetapi di dalam Al-Qur'an sangat jelas disebutkan demikian sebagaimana tercantum Surah Hūd/11: 44. Jika dicermati, secara geografis Gunung Judi masih termasuk bagian dari Pegunungan Ararat, nama tempat kandasnya bahtera Nabi Nuh sebagaimana tertulis dalam Bibel. Pegunungan Ararat atau dalam bahasa Turki lebih dikenal dengan sebutan Agri Dagh, terletak dekat perbatasan Turki-Iran-Armenia.

2. Indonesia Negara Maritim

Sebagai negara maritim Indonesia membutuhkan kapal dari berbagai jenis yang diperlukan sebagai sarana/alat transportasi dan sebagai sarana/alat kerja pertambangan, perikanan, pariwisata, maupun sebagai alat utama sistem pertahanan (alutsista) (Gambar 5.11). Kapal merupakan komoditas yang penting sehingga ia merupakan bagian dari infrastruktur pembangunan nasional dan industri perkapalan.

Galangan kapal pun juga merupakan salah satu industri strategis yang harus ditumbuhkembangkan sebagai penyedia sarana transportasi dan sarana kerja pertambangan, perikanan, pariwisata, serta penyedia alutsista.

Gambar 5.11
Perahu nelayan tradisional yang bertahan.
(Sumber: id.wikipedia.org)

Dalam catatan sejarah bangsa diceritakan bahwa sebelum Candi Borobudur dibuat, nenek moyang kita sudah berinteraksi dan berdagang dengan dunia luar. Alat transportasi laut yang mereka gunakan terpahat sangat bagus di relief Candi Borobudur (Gambar 5.12).

Diceritakan bahwa kerajaan Sriwijaya bercirikan kerajaan maritim. Sriwijaya betul-betul mengandalkan hegemoninya pada kekuatan armada lautnya dalam menguasai alur pelayaran, jalur perdagangan, menguasai dan membangun beberapa kawasan strategis sebagai pangkalan armadanya dalam mengawasi, melindungi kapal-kapal dagang, memungut cukai, serta untuk menjaga wilayah kedaulatan dan kekuasaannya. Sebagai kerajaan bahari, pengaruh Sriwijaya jarang masuk

Gambar 5.12
Relief kapal di dinding Candi Borobudur.
(Sumber: history1978.wordpress.com)

hingga jauh ke wilayah pedalaman. Sriwijaya kebanyakan menerapkan kedaulatannya di kawasan pesisir pantai dan kawasan sungai besar yang dapat dijangkau armada perahu angkatan lautnya di wilayah Nusantara, termasuk Pulau Madagaskar di Afrika.

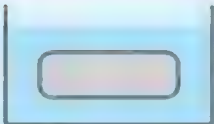
Dari catatan sejarah dan bukti arkeologi diketahui bahwa pada abad ke-9 Sriwijaya telah melakukan kolonisasi di hampir seluruh kerajaan-kerajaan Asia Tenggara, antara lain: Sumatera, Jawa, Semenanjung Malaya, Thailand, Kamboja, Vietnam, dan Filipina (http://id.wikipedia.org/wiki/Sriwijaya-cite_note-37). Dominasi atas Selat Malaka dan Selat Sunda menjadikan Sriwijaya sebagai pengendali jalur perdagangan rempah dan perdagangan lokal. Dalam catatan itu digambarkan betapa Sriwijaya merupakan sebuah kerajaan besar yang menguasai jalur perdagangan maritim di Asia Tenggara sepanjang abad ke-10, walaupun sempat ada saingan dari Kerajaan Medang dari Jawa Timur yang tumbuh menjadi kekuatan bahari baru.

Dari kisah di atas dapat diambil gambaran bahwa sudah sejak dulu kala laut dijadikan sarana transportasi oleh manusia Indonesia untuk mendukung kegiatan perdagangan kerajaan ketika itu. Sungguh benar janji

Allah dalam firman-firman-Nya yang telah menundukkan lautan untuk kepentingan hamba-Nya; berlayar dan membawa mereka dengan tiupan angin yang baik untuk mencari sebagian dari karunianya. Allah berfirman,

إِنَّ فِيْ خَلْقِ السَّمٰوٰتِ وَالْاَرْضِ وَاخْتِلَافِ الَّيْلِ
وَالنَّهَارِ وَالْفُلْكِ الَّتِيْ تَجْرِيْ فِى الْبَحْرِ بِمَا يَنْفَعُ
النَّاسَ وَمَآ اَنْزَلَ اللّٰهُ مِنَ السَّمَاۤءِ مِنْ مَّاۤءٍ فَاَحْيَا بِهِ
الْاَرْضَ بَعْدَ مَوْتِهَا وَبَثَّ فِيْهَا مِنْ كُلِّ دَاۤبَّةٍۖ
وَّتَصْرِيْفِ الرِّيٰحِ وَالسَّحَابِ الْمُسَخَّرِ بَيْنَ السَّمَاۤءِ
وَالْاَرْضِ لَاٰيٰتٍ لِّقَوْمٍ يَّعْقِلُوْنَ

Sesungguhnya pada penciptaan langit dan bumi, pergantian malam dan siang, kapal yang berlayar di laut dengan (muatan) yang bermanfaat bagi manusia, apa yang diturunkan Allah dari langit berupa air, lalu dengan itu dihidupkan-Nya bumi setelah mati (kering), dan Dia tebarkan di dalamnya bermacam-macam binatang, dan perkisaran angin dan awan yang dikendalikan antara langit dan bumi, (semua itu) sungguh, merupakan tanda-tanda (kebesaran Allah) bagi orang-orang yang mengerti. (al-Baqarah/2: 164)

هُوَ الَّذِيْ يُسَيِّرُكُمْ فِى الْبَرِّ وَالْبَحْرِۗ حَتّٰٓى اِذَا كُنْتُمْ فِى
الْفُلْكِۚ وَجَرَيْنَ بِهِمْ بِرِيْحٍ طَيِّبَةٍ وَّفَرِحُوْا بِهَا جَاۤءَتْهَا
رِيْحٌ عَاصِفٌ وَّجَاۤءَهُمُ الْمَوْجُ مِنْ كُلِّ مَكَانٍ وَّظَنُّوْٓا
اَنَّهُمْ اُحِيْطَ بِهِمْۙ دَعَوُا اللّٰهَ مُخْلِصِيْنَ لَهُ الدِّيْنَ ەۚ لَىِٕنْ
اَنْجَيْتَنَا مِنْ هٰذِهٖ لَنَكُوْنَنَّ مِنَ الشّٰكِرِيْنَ

Dialah Tuhan yang menjadikan kamu dapat berjalan di daratan, (dan berlayar) di lautan. Sehingga ketika kamu berada di dalam kapal, dan meluncurlah (kapal) itu membawa mereka (orang-orang yang ada di dalamnya) dengan tiupan angin yang baik, dan mereka bergembira karenanya; tiba-tiba datanglah badai dan gelombang menimpanya dari segenap penjuru, dan mereka mengira telah terkepung (bahaya), maka mereka berdoa dengan tulus ikhlas kepada Allah semata. (Seraya berkata), "Sekiranya Engkau menyelamatkan kami dari (bahaya) ini, pasti kami termasuk orang-orang yang bersyukur. (Yūnus/10: 22)

3. Perkembangan Teknologi Transportasi di Abad Kemajuan Iptek

Dewasa ini kapal lazim dikenal sebagai alat angkutan untuk penumpang dan barang di laut ataupun di sungai dan danau, seperti halnya sampan atau perahu. Berabad-abad kapal digunakan untuk mengangkut penumpang dan barang sampai akhirnya ditemukan pesawat terbang yang mampu mengangkut barang dan penumpang dengan waktu tempuh yang lebih singkat. Kendati demikian, untuk urusan tonase muatan yang lebih besar kapal tetap lebih unggul.

Perbedaan tempat oleh perairan, yang memiliki sifat dan kedalaman yang berbeda-beda, menuntut diciptakannya kapal yang mampu melintasi perairan yang luas. Sejak abad pertengahan para ilmuwan Eropa bahkan sudah mulai memikirkan bagaimana membuat kapal yang dapat menyelam dan bermanuver di dalam air.

Mengapung	Melayang	Tenggelam
V_1 V_2		
$\rho_b < \rho_c$	$\rho_b = \rho_c$	$\rho_b > \rho_c$
$w = m \cdot g$	$w = m \cdot g$	$w = m \cdot g$
$= V \cdot \rho_b \cdot g$	$= V \cdot \rho_b \cdot g$	$= V \cdot \rho_b \cdot g$
$F_A = V_2 \cdot \rho_c \cdot g$	$F_A = V \cdot \rho_c \cdot g$	$F_A = V \cdot \rho_c \cdot g$

Gambar 5.13
Hukum Archimedes mengapung, melayang, dan tenggelam. *(Sumber: forum.indowebster.com)*

Sejalan dengan perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi, penggunaan kapal pun ikut berkembang yang disesuaikan dengan kebutuhannya. Bagaimana sebuah kapal dapat mengapung di atas air dapat dijelaskan melalui kaidah ilmu fisika, yakni karena berlakunya hukum Archimedes (Gambar 5.13). Dari eksperimennya ia berkesimpulan bahwa "sebuah benda yang tercelup sebagian atau seluruhnya ke dalam zat cair mengalami gaya ke atas yang besarnya sama dengan berat zat cair yang dipindahkannya."

Ketika kapal mengapung, hanya sebagian volume kapal yang tercelup di dalam air sehingga besarnya volume air yang berpindah akan lebih kecil daripada jumlah volume total kapal yang mengapung. Karenanya, kapal akan mengapung jika gaya apung lebih besar daripada berat kapal dan massa jenis kapal harus lebih kecil daripada massa jenis air.

Khusus kapal selam, ia dapat berada dalam tiga keadaan, yaitu mengapung, melayang, dan tenggelam (Gambar 5.14). Ketiga keadaan ini dapat dicapai dengan mengatur banyaknya air dan udara dalam badan kapal selam. Pada badan kapal selam terdapat bagian yang dapat diisi udara dan air. Ketika kapal selam ingin terapung maka bagian tersebut harus berisi udara. Peristiwa kapal mengapung sudah dije-

Gambar 5.14
Kapal selam mini. *(Sumber: sukasains.com)*

laskan tersebut di atas. Ketika akan melayang, udara pada kapal dikeluarkan dan diisi dengan air sehingga mencapai keadaan melayang. Pada peristiwa melayang, volume air yang dipindahkan (volume kapal yang tercelup) sama besarnya dengan volume total kapal yang melayang. Dengan kata lain, kapal melayang jika gaya apung sama dengan berat kapal, dan massa jenis kapal harus sama dengan massa jenis air. Jika ingin tenggelam maka air dalam kapal selam harus diperbanyak.

Sekarang ini kapal tidak sebatas difungsikan sebagai pengangkut penumpang dan barang, tetapi digunakan juga untuk berbagai kepentingan lainnya yang lebih khusus, seperti eksplorasi mencari minyak, mineral, dan bahan tambang atau untuk penelitian lainnya.

Untuk mengangkut minyak manusia menggunakan kapal jenis tanker dengan berbagai ukurannya (Gambar 5.15).

Dalam perkembangannya kapal modern telah menggunakan bahan bakar fosil, yaitu solar dan bensin, bukan lagi dayung atau layar. Namun, dengan perkiraan bahwa bahan bakar fosil akan segera habis maka industri kapal dunia sudah mulai membuat kapal berbahan bakar nuklir. Nuklir sudah dipakai sebagai bahan pada kapal-kapal perang untuk operasi militer. Negara-negara besar seperti Ame-

Gambar 5.15
Kapal tanker. *(Sumber: stenaboat.com)*

Gambar 5.16
Kapal perang induk modern.
(Sumber: en.wikipedia.org)

rika dan Rusia sudah mempunyai kapal bertenaga nuklir, seperti kapal induk milik Amerika, USS Enterprise, dan kapal pemecah es milik Rusia, Lenin. (Gambar 5.16).

C. LAUT SEBAGAI SUMBER ENERGI

Seiring perkembangan peradaban manusia di dunia, semakin beragam pula kebutuhan dalam hidupnya. Dengan demikian manusia akan lebih banyak membutuhkan bahan dari sumber daya alam demi memenuhi kebutuhan-kebutuhan hidupnya. Menyadari pentingnya bahan-bahan dari sumber daya alam guna memenuhi kebutuhan hidup manusia, diperlukan suatu jalan keluar guna memadukan kedua aspek tersebut agar dapat berjalan bersama-sama. Yang sangat jelas, di antara kedua aspek tersebut akan ada perilaku untuk mengambil dan diambil, menggunakan dan digunakan. Pada akhirnya, salah satu di antaranya akan mengalami penurunan dan kelangkaan secara perlahan. Itu artinya sumber daya alam yang di antaranya bermanfaat bagi kehidupan manusia akan mengalami penurunan, baik kualitas maupun kuantitasnya.

Isu kesenjangan antara kebutuhan dan persediaan energi menjadi masalah yang perlu segera dicari pemecahannya, mengingat produksi minyak diperkirakan akan menurun tajam pada dekade 2010-an sehingga itu menjadi titik awal kesenjangan energi. Tidak menentunya harga minyak di pasar internasional yang mengakibatkan melambungnya harga minyak dunia yang merupakan sumber energi primer adalah parameter lain yang berpengaruh dalam menentukan kebijakan. Untuk itulah perlu dicari solusi energi alternatif yang dapat menggantikan minyak bumi atau bahan bakar fosil lainnya yang bersifat lebih efisien, ramah lingkungan, dan terbarukan.

Berbagai upaya telah dilakukan untuk mendapat solusi yang tepat,

namun disadari bahwa pengembangan suatu sumber energi alternatif akan memerlukan waktu sebelum sampai pada tahap pemanfaatannya secara ekonomi. Beberapa negara seperti Amerika Serikat, Rusia, Inggris, Korea, Perancis, Kanada, Jepang, dan Belanda telah mulai meneliti kemungkinan pemanfaatan energi dari laut, terutama gelombang, pasang-surut, dan panas laut dengan hasil yang memberi harapan cukup baik. Bukankah Allah telah mengaruniakan air di lautan atau samudra untuk dimanfaatkan seluas-luasnya oleh manusia?

وَاَنْزَلْنَا مِنَ السَّمَاۤءِ مَاۤءًۢ بِقَدَرٍ فَاَسْكَنّٰهُ فِى الْاَرْضِۖ وَاِنَّا عَلٰى ذَهَابٍۢ بِهٖ لَقٰدِرُوْنَ

Dan Kami turunkan air dari langit dengan suatu ukuran; lalu Kami jadikan air itu menetap di bumi, dan pasti Kami berkuasa melenyapkannya. (al-Mu'minūn/23: 18)

Air hujan yang diturunkan secara teratur dan berketetapan menjadi salah satu bagian yang menjadikan adanya kedinamisan air di permukaan bumi berpotensi untuk dimanfaatkan oleh manusia. Air dalam jumlah yang besar Allah "gerakkan" untuk menyebar ke seluruh permukaan bumi agar dapat bermanfaat, termasuk air yang "singgah" di lautan. Dalam kenyataannya butir-butir air dengan keunikan sifat-sifat fisis dan kimianya mampu "berperan" banyak dalam kehidupan makhluk-Nya di bumi.

Sepanjang sejarah perjalanan hidup manusia, laut sebagai salah satu sumber daya alam telah banyak mendatangkan manfaat bagi kehidupan manusia. Selain rasanya yang asin dan warnanya yang biru, laut masih memiliki banyak keistimewaan lainnya yang dapat dimanfaatkan. Mahabenar Allah dalam firman-firman-Nya.

اَلَمْ تَرَ اَنَّ اللّٰهَ سَخَّرَ لَكُمْ مَّا فِى الْاَرْضِ وَالْفُلْكَ تَجْرِيْ فِى الْبَحْرِ بِاَمْرِهٖۗ وَيُمْسِكُ السَّمَاۤءَ اَنْ تَقَعَ عَلَى الْاَرْضِ اِلَّا بِاِذْنِهٖۗ اِنَّ اللّٰهَ بِالنَّاسِ لَرَءُوْفٌ رَّحِيْمٌ

Tidakkah engkau memperhatikan bahwa Allah menundukkan bagimu (manusia) apa yang ada di bumi dan kapal yang berlayar di lautan dengan perin-tah-Nya. Dan Dia menahan (benda-benda) langit agar tidak jatuh ke bumi, melainkan dengan izin-Nya? Sungguh, Allah Maha Pengasih, Maha Penyayang kepada manusia. (al-Ḥajj/22: 65)

وَهُوَ الَّذِيْ سَخَّرَ الْبَحْرَ لِتَأْكُلُوْا مِنْهُ لَحْمًا طَرِيًّا وَّتَسْتَخْرِجُوْا مِنْهُ حِلْيَةً تَلْبَسُوْنَهَاۚ وَتَرَى الْفُلْكَ مَوَاخِرَ فِيْهِ وَلِتَبْتَغُوْا مِنْ فَضْلِهٖ وَلَعَلَّكُمْ تَشْكُرُوْنَ

Dan Dialah yang menundukkan lautan (untukmu), agar kamu dapat memakan daging yang segar (ikan) darinya, dan (dari lautan itu) kamu mengeluarkan perhiasan yang kamu pakai. Kamu (juga) melihat perahu berlayar padanya, dan agar

kamu mencari sebagian karunia-Nya, dan agar kamu bersyukur. (an-Naḥl/16: 14)

Dengan luas perairan hampir 60% dari total luas wilayahnya yang sebesar 1.929.317 km^2, Indonesia mempunyai potensi yang sangat besar dalam bidang maritim. Hal ini diperkuat dengan kondisi bentangan timur ke barat sepanjang 5.150 km dan bentangan utara ke selatan 1.930 km yang telah mendudukkan Indonesia sebagai negara dengan garis pantai terpanjang kedua di dunia.

Laut tidak hanya menyimpan beragam ikan dan sumber daya hayati lainnya sebagai sumber pangan. Lebih dari itu, perairan Indonesia sebenarnya menyimpan energi terbarukan yang antipolusi, ramah lingkungan, dan awet sepanjang masa. Pemikiran terhadap alternatif pendayagunaan energi laut sudah lama tercetus meskipun baru pada tahap wacana. Kini para ahli menaruh perhatian terhadap laut untuk mencari jawaban atas tantangan kekurangan energi di waktu mendatang dan menganekakan penggunaan sumber daya energi.

Sebagai ilustrasi dapat dijelaskan bahwa ada 4 jenis sumber energi terbarukan dari laut. Keempatnya adalah: (1) Energi gelombang; (2) Energi yang timbul akibat perbedaan suhu antara permukaan air dan lapisan dalam (*Ocean Thermal Energy Conversion*); (3) Energi yang disebabkan oleh perbedaan tinggi permukaan air akibat pasang surut; dan (4) Energi arus laut. Dari keempatnya hanya energi gelombang yang tidak dapat diprediksi kapasitasnya dengan tepat karena keberadaannya sangat bergantung pada cuaca, sedangkan OTEC, energi perbedaan tinggi pasang surut, serta energi arus laut dapat diprediksi kapasitasnya dengan tepat.

1. Energi Gelombang

Salah satu jenis energi yang dapat diperoleh dari samudra adalah energi gelombang. Sudah banyak pemikiran untuk mempelajari kemungkinan pemanfaatan energi yang tersimpan dalam ombak laut. Salah satu negara yang sudah banyak meneliti hal ini adalah Inggris. Air laut dengan cara yang tepat akan menghasilkan energi listrik melalui pusat pembangkit listrik energi gelombang. Sifat kontinuitasnya yang tersedia terus setiap waktu menjadikan ombak baik untuk dijadikan sebagai pembangkit tenaga listrik. Melalui pembangkit listrik ini energi besar pada ombak dapat diubah menjadi tenaga listrik. Listrik dari tenaga ombak ini diharapkan dapat menjadi solusi alternatif bagi krisis energi yang terjadi akhir-akhir ini. Salah satu pembangkit listrik energi gelombang

telah diujicobakan di Pulau Islay di lepas pantai barat Skotlandia, dan menghasilkan 500 kW listrik yang cukup untuk memenuhi kebutuhan 400 rumah tangga.

Cara kerja pembangkit listrik baru ini sangat sederhana. Sebuah tabung beton dipasang pada suatu ketinggian tertentu di pantai dan ujungnya dipasang di bawah permukaan air laut. Tiap kali ombak datang ke pantai, air di dalam tabung beton itu akan mendorong udara yang terdapat di bagian tabung yang terletak di darat. Pada saat ombak surut, terjadi gerakan udara yang sebaliknya dalam tabung tadi. Gerakan udara yang bolak-balik inilah yang dimanfaatkan untuk memutar turbin yang dihubungkan dengan sebuah pembangkit listrik.

Gambar 5.17
Pembangkit listrik energi ombak Islay.
(Sumber: schaeffler.com)

Gambar 5.18
Pembangkit listrik energi ombak.
(Sumber: schaeffler.com)

Sebuah alat khusus dipasang pada turbin itu supaya ia hanya berputar satu arah, walaupun arah arus udara dalam tabung beton itu silih berganti (Gambar 5.17 dan 5.18).

Selain Skotlandia, langkah ini juga telah dirintis di New South Wales, Australia, baru-baru ini. Pembangkit listrik tersebut mempunyai luas seperempat lapangan sepak bola dan tingginya setara gedung bertingkat lima. Pembangkit listrik tenaga ombak pertama ini nantinya akan diletakkan 200 meter dari garis pantai. Ombak yang datang akan memasuki sebuah lorong dan menciptakan tiupan udara dengan kecepatan mencapai 400 kilometer per jam untuk memutar turbinnya guna menerangi 2.000 rumah. Keuntungan

lain dari pembangkit listrik ini adalah tidak menghasilkan gas emisi sehingga ramah lingkungan. Selain itu, alat pembangkit ini dapat dioperasikan dari mana saja melalui sambungan internet.

Menurut pengamatan Hulls, deretan ombak (gelombang) di sekitar pantai Selandia Baru dengan tinggi rata-rata 1 meter dan periode 9 detik mempunyai daya sebesar 4,3 kW per meter panjang ombak, sedangkan deretan ombak serupa dengan tinggi 2 meter dan 3 meter dayanya sebesar 39 kW per meter panjang ombak. Adapun ombak dengan ketinggian 100 meter dan periode 12 detik menghasilkan daya 600 kW per meter. Karena beberapa laut di Indonesia mempunyai ombak dengan ketinggian di atas 5 meter maka potensi energi gelombangnya menjadi pilihan alternatif untuk dapat dimanfaatkan di masa depan.

Gelombang laut merupakan salah satu bentuk energi yang bisa dimanfaatkan dengan mengetahui tinggi, panjang, dan periode waktu gelombang. Menurut A. Harsono Soepardjo dari Pusat Studi Kelautan, F-MIPA UI, ada empat teknologi energi gelombang yang dikenal dan telah dikembangkan di dunia, yaitu sistem Rakit Cockerell, Tabung Tegak Kayser, Pelampung Salter, dan Tabung Masuda.

Sistem Rakit Cockerell berbentuk untaian rakit-rakit yang saling dihu-

Gambar 5.19
Pembangkit listrik energi ombak—Sistem Rakit Cockerell. *(Sumber: superpowerful.wordpress.com)*

bungkan dengan engsel-engsel (Gambar 5.19). Sistem ini bergerak naik turun mengikuti gelombang laut. Gerakan relatif rakit-rakit menggerakkan pompa hidrolik yang berada di antara dua rakit.

Sistem Tabung Tegak Kayser menggunakan pelampung yang bergerak naik turun dalam tabung karena adanya tekanan air. Gerakan relatif antara pelampung dan tabung menimbulkan tekanan hidrolik yang dapat diubah menjadi energi listrik.

Sistem Pelampung Salter memanfaatkan gerakan relatif antara bagian pembungkus luar (*external hull*) dan bandul di dalamnya (*internal pendulum*) untuk diubah menjadi energi listrik (Gambar 5.20).

Pada Sistem Tabung Masuda metodenya adalah memanfaatkan gerak gelombang laut masuk ke dalam ruang bawah dalam pelampung dan menimbulkan gerakan perpindahan

Gambar 5.20 Pembangkit listrik energi ombak—Sistem Salter Duck. *(Sumber: people.bath.ac.uk)*

udara di bagian ruangan atas dalam pelampung. Gerakan perpindahan udara ini dapat menggerakkan turbin udara. Yoshio Masuda (w. 2009), mantan perwira AL Jepang, dianggap sebagai bapak modern teknologi energi gelombang karena ia diyakini sebagai penemu prinsip kolom osilasi (OWC).

Negara-negara maju seperti Amerika Serikat, Inggris, Jepang, Finlandia, dan Belanda banyak menaruh perhatian pada energi ini. Lokasi potensial untuk membangun sistem energi gelombang adalah di laut lepas, daerah lintang sedang, dan perairan pantai. Di Indonesia energi gelombang bisa dikembangkan di laut selatan Pulau Jawa dan Sumatera.

Pemerintah Indonesia melalui Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi (BPPT) sejak pertengahan 1990-an bekerja sama dengan Norwegia untuk merancang teknologi energi gelombang sistem *Tappered Channel* (Tapchan) untuk pembangkit listrik. Rencananya hasil rancangan ini akan dipasang di Pantai Baron, Yogyakarta, yang berpotensi menghasilkan listrik hingga 1,1 megawatt. Teknologi Tapchan dirancang untuk menampung empasan air laut yang menerjang pantai ke dalam suatu kolam reservoir yang letaknya sekitar dua meter di atas permukaan laut. Air di dalam reservoir kemudian dialirkan ke sebuah dam dan dipakai untuk memutar turbin pembangkit listrik. Melihat kondisi pantanya, wilayah pantai Indonesia yang menghadap Samudra Hindia cocok untuk sistem Tapchan ini.

Selain itu Badan Riset Kelautan dan Perikanan (BRKP) bekerja sama dengan *Japan Marine Science and Technology Center* (Jamstec) juga tengah mengkaji pembangkit listrik tenaga gelombang jenis *Mighty Whale* alias "si ikan paus". Sistem konstruksinya sedemikian menyerupai ikan paus, berbentuk bangunan terapung dengan panjang 50 meter, lebar 30 meter, dan tinggi 12 meter. Di dalam bangunan terapung itu dipasang dinamo pembangkit lis-

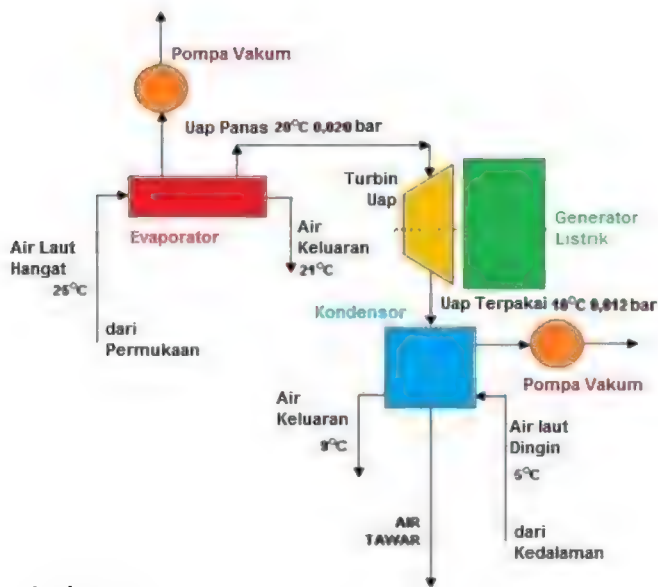
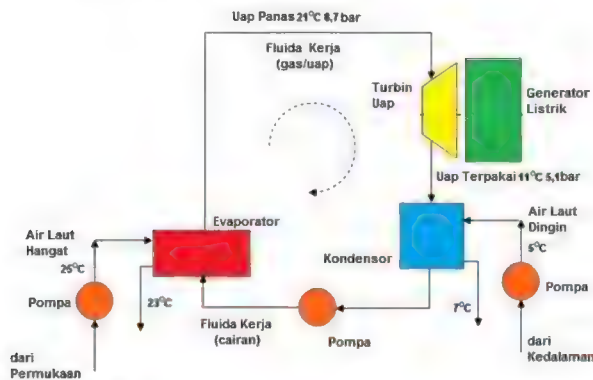
trik yang mampu menghasilkan listrik sampai 60 kW. Bangunan "si ikan paus" ini diapungkan pada jarak sekitar 1 kilometer dari pantai dengan kedalaman 30 meter. Pergerakan gelombang laut yang masuk ke "mulut" ikan paus akan memutar baling-baling dinamo listrik dan menghasilkan listrik. Sistem ini mempunyai kelebihan lain, yaitu bahwa perairan yang berada di belakang konstruksi ini bisa dipakai untuk budi daya keramba jaring apung, *diving*, atau wisata bahari lainnya.

BRKP juga bekerja sama dengan *Marine Current Turbines* Inggris menjadikan sistem kincir air sebagai kajian alternatif pembangkit listrik energi gelombang hasil putaran baling-baling yang dibenamkan di dalam laut. Diperkirakan kincir air lebih efisien daripada kincir angin yang dipasang di darat. Kincir air jenis ini mampu menghasilkan sekitar 300 kW listrik. Alat seperti ini bisa dipasang di pantai berkedalaman 20–35 meter dengan kecepatan arus rata-rata 4–5 knots. Dari pengamatan BRKP, banyak lokasi pantai di Indonesia yang sesuai untuk penempatan kincir air jenis ini.

2. Energi Panas Laut

Konversi energi panas laut adalah sistem konversi energi yang terjadi akibat perbedaan suhu di permukaan dan di bawah laut menjadi energi listrik. Potensi terbesar konversi energi panas laut untuk pembangkit listrik terletak di khatulistiwa. Itu karena sepanjang tahun di daerah khatulistiwa suhu permukaan laut berkisar antara 25–30 °C, sedangkan suhu di bawah laut turun 5–7 °C pada kedalaman lebih dari 500 m.

Dari sisi teknis pemanfaatan terdapat dua siklus konversi energi panas laut, yaitu siklus Rankine Terbuka (Gambar 5.21) dan siklus Rankine Tertutup (Gambar 5.22).

Sebagai pembangkit tenaga listrik, konversi energi panas laut siklus Rankine

Gambar 5.21
Gambar Diagram Alir Sistem Konversi Energi Panas Laut - Siklus Terbuka
(Sumber: armand10dma.blogspot.com)

Gambar 5. 22
Diagram alir sistem konversi energi panas laut—siklus tertutup.
(Sumber : armand10dma.blogspot.com)

Terbuka memerlukan diameter turbin sangat besar untuk menghasilkan daya lebih besar dari 1 MW, sedangkan komponen yang tersedia belum memungkinkan untuk menghasilkan daya sebesar itu. Alternatif lain yaitu siklus Rankine Tertutup dengan fluida kerja amonia atau freon.

Sementara itu, berdasarkan letak penempatan pompa kalor, konversi energi panas laut dapat dikelompokkan menjadi tiga tipe, yaitu: konversi energi panas laut landasan darat, konversi energi panas laut terapung landasan permanen, dan konversi energi panas laut terapung kapal.

Sampai saat ini teknologi konversi energi panas laut jenis ini baru pada tahap percontohan dengan kapasitas 100 W dan dengan fluida kerja freon yang dilakukan oleh TEPSCO (*Tokyo Electric Power Service Co.Ltd.*) Jepang, dengan lokasi percontohan di Kepulauan Nauru. Selain itu, dibangun pula pusat penelitian dan pengembangan konversi energi panas laut landasan darat, *Seacoast Test Facility* (STF) di Hawaii.

Teknologi konversi energi panas laut jenis ini juga baru sampai pada taraf percontohan, dengan nama pembangkit Mini OTEC yang berkapasitas 50 kW dengan lokasi percontohan di laut Hawaii. Mini OTEC menghasilkan daya bersih 10–15 kW. Selain itu, pada tempat yang sama beroperasi konversi energi panas laut dengan nama OTEC1 dengan kapasitas 1 MW.

Perkembangan teknologi konversi energi panas laut di Indonesia baru mencapai status penelitian, dengan jenis konversi energi panas laut landasan darat dan dengan kapasitas 100 kW, berlokasi di Bali Utara. Untuk lautan di wilayah Indonesia, potensi termal 2,5 x 1.023 joule dengan efisiensi konversi energi panas laut sebesar tiga persen dapat menghasilkan daya sekitar 240.000 MW. Potensi energi panas laut yang baik terletak di daerah antara 6–9° Lintang Selatan dan 104–109° Bujur Timur. Di daerah tersebut pada jarak kurang dari 20 km dari pantai didapatkan suhu rata-rata permukaan laut di atas 28 °C dan didapatkan perbedaan suhu permukaan dan keda-

laman laut (1.000 m) sebesar 22,8 °C, sedangkan perbedaan suhu rata-rata tahunan permukaan dan kedalaman lautan (650 m) lebih tinggi dari 20 °C. Dengan potensi sumber energi yang melimpah, konversi energi panas laut dapat dijadikan alternatif pemenuhan kebutuhan energi listrik di Indonesia.

3. Energi Pasang Surut

Interaksi bumi-bulan diperkirakan menghasilkan daya energi arus pasang surut setiap harinya sebesar 3,17 TW (TeraWatt = 10^{12} Watt), sedikit lebih besar daripada kapasitas pembangkit listrik yang terpasang di seluruh dunia pada 1995, yakni sebesar 2,92 TW (Kantha & Clayson, 2000). Perkiraan kasar jumlah energi pasang surut di samudra seluruh dunia adalah sebesar 3.106 MW. Namun demikian, kapasitas potensi daya energi pasang surut laut di wilayah perairan Indonesia belum dapat diprediksi.

Indonesia mempunyai banyak pulau yang darinya banyak terbentuk selat-selat sempit yang membatasinya maupun teluk yang dimiliki masing-masing pulau. Ini memungkinkan pemanfaatan energi pasang surut. Saat laut pasang dan saat laut surut aliran airnya dapat menggerakkan turbin untuk membangkitkan listrik. Daerah-daerah yang mempunyai potensi energi pasang surut misalnya Bagan Siapiapi, yang pasang surutnya mencapai 7 meter, Teluk Palu yang struktur geologinya merupakan patahan (*Palu Graben*) sehingga memungkinkan gejala pasang surut, Teluk Bima di Sumbawa (Nusa Tenggara Barat), Kalimantan Barat, Papua, dan pantai selatan Pulau Jawa.

Tidak kurang dari 100 lokasi di dunia yang dinilai cocok sebagai lokasi pembangunan pembangkit energi pasang surut. Dari segi teknis sistem pemanfaatan energi pasang surut dapat dibedakan menjadi dua, yaitu: pemanfaatan kolam tunggal dan pemanfaatan kolam ganda.

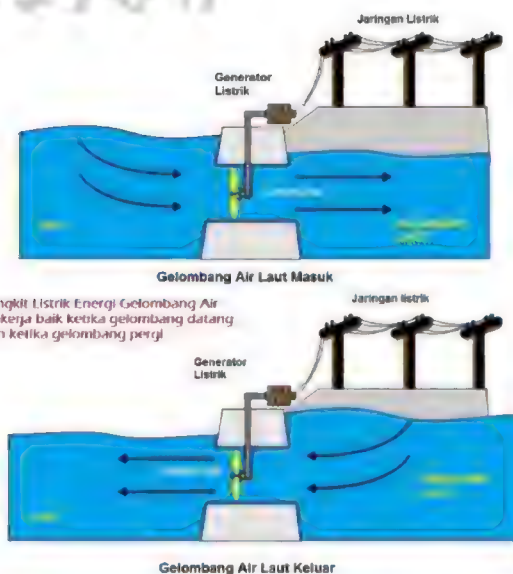
Pada sistem pertama energi pasang surut dimanfaatkan hanya pada periode air surut (*ebb period*) atau pada periode air naik (*flood time*). Turbin dan saluran terletak dalam satu bendungan (*dam*) yang memisahkan kolam dan laut. Sewaktu air pasang permukaan air di kolam sama dengan permukaan laut. Sewaktu air mulai surut terjadilah perbedaan tinggi air (*head*) antara kolam dan laut yang menyebabkan air mulai mengalir ke arah laut dan memutar turbin (Gambar 5.23).

Pada sistem yang kedua (kolam ganda) energi pasang surut dimanfaatkan pada kedua periode sekaligus, baik sewaktu air pasang maupun air

Gambar 5.23
Pembangkit listrik energi pasang surut—kolam tunggal.
(Sumber: www.wyretidalenergy.com)

surut. Pada sistem kolam ganda turbin akan berkerja dalam dua arah aliran. Kedua kolam dipisahkan oleh satu bendungan (*dam*) yang di dalamnya terdapat turbin dua arah; masing-masing kolam memiliki saluran yang menghubungkan dengan laut (Gambar 5.24). Meski turbin bekerja terus-menerus, namun kecepatannya bervariasi, selain dengan perbedaan tinggi permukaan air di kolam dan permukaan laut. Perbedaan tinggi antara permukaan air di kolam dan permukaan air laut di tempat-tempat energi pasang surut berkisar beberapa meter sampai 13 meter.

Penelitian pemanfaatan energi pasang surut telah dilakukan oleh beberapa negara, misalnya Perancis, Rusia, Amerika Serikat, dan Kanada sejak 1920. Setelah lebih dari 40 tahun atau sekitar tahun 1966 pembangkit energi listrik berkekuatan 240 MW yang digerakan oleh tenaga pasang surut berhasil dibangun oleh Perancis di Pantai Estuari Rance. Di Rusia dijumpai proyek energi pasang surut dengan kapasitas 2.176 MW di Bay of Fundy. Di Australia proyek yang sama juga dijumpai di Kimberly.

Mekanisme pusat listrik energi pasang surut tergantung pada beberapa faktor, seperti arah angin, kecepatan, lamanya bertiup, dan luas daerah yang

Gambar 5.24
Pembangkit listrik energi pasang surut—kolam ganda. *(Sumber: physicshydropower.wikispaces.com)*

Gambar 5.25
Pembangkit listrik energi pasang surut di Pantai Estuari Rance, Perancis. *(Sumber: energy-pedia.com)*

dipengaruhi. Karenanya, di dalam penelitian mengenai energi ini faktor meteorologi/geofisika menjadi hal sangat penting. Pertimbangan lain yang perlu diperhatikan pada pemanfaatan energi ini adalah diperlukannya daerah yang cukup luas untuk menampung air laut (*reservoir area*). Meskipun demikian, pemanfaatan energi ini memiliki keuntungan lain karena tidak akan menimbulkan polutan bahan-bahan beracun ke lingkungan sekitarnya.

4. Energi Arus Laut

Energi arus laut adalah energi kinetik yang dapat dengan mudah dikonversikan menjadi energi listrik dengan efisiensi yang cukup tinggi. Meskipun prinsip dasar teknologi proses konversi energi arus laut sama dengan teknologi proses konversi energi pada turbin angin, namun dalam penggunaan praktis masih terus dikembangkan. Daya yang dihasilkan oleh turbin arus laut jauh lebih besar daripada daya yang dihasilkan oleh turbin angin, karena rapat massa air laut hampir 830 kali rapat massa udara. Diperkirakan sumber energi laut di dunia mencapai 2,8 x 102 TW-jam. Selain itu, arus laut ini juga menarik untuk dikembangkan sebagai pembangkit listrik karena sifatnya yang relatif stabil dan karakteristiknya dapat diprediksi.

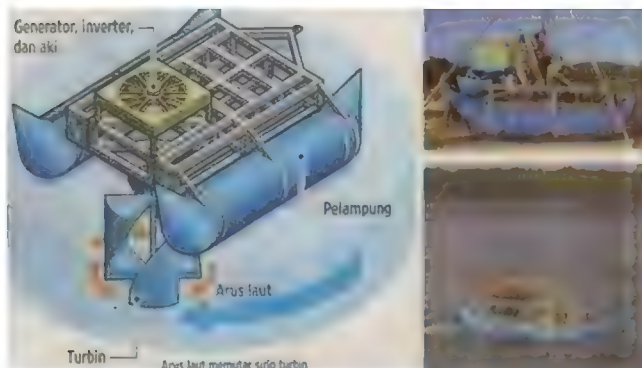
Dari penelitian PL Fraenkel tercatat lokasi yang ideal untuk instalasi pembangkit listrik tenaga arus mempunyai kecepatan arus dua arah (*bidirectional*) minimum 2 meter per detik (idealnya 2,5 m/s atau lebih); kalau satu arah (sungai/arus geostropik) maka kecepatan arusnya minimum 1,2–1,5 m/s; kedalaman tidak kurang dari 15 meter dan tidak lebih dari 40 atau 50 meter; relatif dekat dengan pantai agar energi dapat disalurkan dengan biaya rendah; cukup luas sehingga dapat dipasang lebih dari satu turbin; dan harus bukan daerah pelayaran atau penangkapan ikan.

Di Indonesia, penelitian karakteristik arus laut yang telah dilakukan oleh Puslitbang Geologi Kelautan (PPPGL) diawali pada 2005 berkolaborasi dengan Program Studi Oseanografi ITB.

Pengukuran arus laut dilakukan menggunakan ADCP (*Accoustic Doppler Current Profiler*) di Selat Lombok dan Selat Alas dalam kaitan dengan rencana penyiapan lokasi untuk instalasi berkapasitas 300 kW di bawah koordinasi Kementerian Riset dan Teknologi.

Pada 2006–2010 telah pula dilaksanakan penelitian karakteristik arus laut di berbagai selat di Nusa Tenggara, yaitu Selat Lombok, Selat Alas, Selat Nusa Penida, Selat Flores, dan Selat Pantar. Di perairan Indonesia, sementara ini tercatat arus pasang-surut terkuat dengan kecepatan 5,0 m/detik yang terdapat di Selat antara Pulau Taliabu dan Pulau Mangole di Kepulauan Sula, Maluku Utara. Adapun kecepatan arus pasang-surut di pantai-pantai perairan Indonesia pada umumnya kurang dari 1,5 m/detik, kecuali di selat-selat di antara pulau-pulau Bali, Lombok, dan Nusa Tenggara Timur, dimana kecepatannya bisa mencapai 2,5–3,4 m/detik.

Purwarupa (prototipe) turbin pertama telah dibangun secara kemitraan bersama antara Kelompok Teknik T-Files ITB dan PT Dirgantara Indonesia, dengan mengadopsi dan memodifikasi model turbin Gorlov skala kecil (0,8 kW/cel) (Gambar 5.26). Perangkat pembangkit listrik ini selanjutnya telah diuji coba di kolam uji PPPGL Cirebon pada 2008, dan dilanjutkan dengan uji lapangan pada 2009 di Selat Nusa Penida sehingga berhasil memperoleh "*proven design*".

Purwarupa dalam skala besar (>80 kW) direncanakan akan dibuat pada 2012–2014 oleh institusi terkait lainnya yang berkewenangan (Ditjen Energi Baru Terbarukan, Puslitbangtek Ketenagalistrikan dan Energi Baru Terbarukan, dsb.) untuk mengembangkan dan meningkatkan status skala prototipe menjadi skala pilot dan skala komersial. Diharapkan pada tahun 2025 energi listrik tenaga arus laut yang dihasilkan dari berbagai pembangkit akan mencapai 5% dari sasaran kebijakan energi 25% bauran energi Indonesia, sesuai visi bauran energi 25/25, di mana target penggunaan energi baru terbarukan pada tahun

Gambar 5.26
Turbin Gorlov mini buatan Kelompok Teknik T-Files.
(Sumber: www.kesimpulan.com)

2025 mencapai 25% dari bauran energi nasional. Saat ini beberapa negara seperti Skotlandia, Swedia, Perancis, Norwegia, Inggris, Irlandia Utara, Australia, Italia, Korea Selatan, dan Amerika Serikat telah mengembangkannya hingga skala komersial dengan kapasitas 1,2 MW/turbin.

Selain ramah lingkungan, keuntungan lain dari penggunaan energi arus laut adalah intensitas energi kinetiknya yang besar dibandingkan energi terbarukan yang lain. Hal ini disebabkan densitas air laut 830 kali lipat densitas udara sehingga dengan kapasitas yang sama turbin arus laut akan jauh lebih kecil dibandingkan dengan turbin angin. Keuntungan lainnya adalah tidak perlu perancangan struktur yang kekuatannya berlebihan seperti pada turbin angin yang dirancang harus memperhitungkan kemungkinan adanya angin topan. Tercatat kondisi fisik pada kedalaman tertentu cenderung tenang dan dapat diperkirakan.

Di sisi lain, energi arus laut juga memiliki kekurangan karena *output*-nya mengikuti grafik sinusoidal sesuai dengan respons pasang surut akibat gerakan interaksi bumi-bulan-matahari. Pada saat pasang purnama kecepatan arus akan deras sekali, sedangkan pada saat pasang perbani kecepatan arus akan berkurang kira-kira setengah dari pasang purnama. Kekurangan lainnya adalah biaya instalasi dan pemeliharaannya yang cukup besar. Kendati begitu, bila turbin arus laut dirancang dengan kondisi pasang perbani, yakni saat di mana kecepatan arus paling kecil, dan dirancang untuk bekerja secara terus-menerus tanpa reparasi selama lima tahun, maka biaya ini dapat diminimalkan dan keuntungan ekonomisnya sangat besar. Hal yang terakhir ini merupakan tantangan teknis tersendiri bagi para insinyur dalam merancang sistem turbin, sistem roda gigi, dan sistem generator yang dapat bekerja secara terus-menerus selama lebih kurang lima tahun.

Berbeda dengan energi gelombang laut yang hanya terjadi pada kolom air di lapisan permukaan saja, arus laut bisa terjadi pada lapisan yang lebih dalam. Kelebihan karakter fisik ini memberikan peluang yang lebih optimal dalam pemanfaatan konversi energi listrik.

5. Energi Bahan Bakar Nabati atau *Biofuel* dari Rumput Laut

Rumput laut atau *seaweed* merupakan tumbuhan laut yang banyak terdapat di dekat pesisir pantai yang berasosiasi dengan terumbu karang. Sudah sejak lama rumput laut dimanfaatkan seba-

gai bahan mentah, seperti agar-agar, karaginan, dan algin. Pada produk makanan, karaginan berfungsi sebagai stabilator (pengatur keseimbangan), *thickener* (bahan pengental), pembentuk gel, pengemulsi, atau lainnya. Tumbuhan yang juga disebut alga ini memiliki 3 genus (dan ratusan spesies) yaitu: alga coklat (*turbinaria*, *sargassum*, dan lain-lain), algae hijau (*caulerpa*, *halimeda*, *ulva*, dan lain-lain), dan algae merah (*rhodymenia*, *porphyra*, *laurencia*, *kappaphycus*, *hypnea*, dan sebagainya) (Gambar 5.17).

Dari hasil penelitian akhir-akhir ini diketahui manfaat lain dari rumput laut, yaitu sebagai pereduksi emisi gas karbon dan bahan baku *biofuel*. Karena itu, kajian kebijakan yang berhubungan dengan isu dunia akan adanya krisis energi bahan bakar minyak (BBM) ikut mempertimbangkan *biofuel* dari rumput laut sebagai bahan bakar nabati (BBN) untuk dijadikan sumber energi alternatif di masa depan.

Hasil penelitian terdahulu mencatat bahwa rumput laut memiliki potensi sebagai bahan baku *biofuel* yang cukup menjanjikan. Terdata bahwa dalam tubuh alga ditemukan kandungan protein (50%), lemak (30%), dan karbohidrat (20%). Kandungan karbohidrat yang tinggi dalam rumput laut dapat dimanfaatkan sebagai bahan baku penghasil bioetanol dan biogas, sementara kandungan lemaknya dapat diekstraksi menjadi biodiesel.

Di Norwegia rumput laut *Laminaria* telah dimanfaatkan sebagai penghasil bioetanol (Horn, et.al., 2008) dan di Jepang *Ulva* dan *Laminaria* telah dimanfaatkan sebagai penghasil biogas (Matsui, et.al., 2006). Hasil penelitian lainnya justru menunjukkan bahwa rumput laut berpotensi sebagai bahan penghasil gas metan. Rata-rata kadar metan yang dihasilkan dari fermentasi anaerob tiga jenis rumput laut *Padina*, *Gracilaria*, dan *Sargassum* mencapai 19%.

Kelebihan dari upaya pengembangan energi berbahan baku rumput laut adalah bahwa dalam proses budi dayanya tidak akan mengurangi lahan pertanian pangan yang ada karena ia tidak memerlukan lahan darat. Indonesia sebagai negara kepulauan

Gambar 5.27
Trio alga: coklat-merah-hijau.
(sumber: visual.merriam-webster.com)

yang 2/3 wilayahnya terdiri dari lautan dan memiliki panjang pantai sekitar 81.000 km memiliki potensi besar untuk membudidayakan rumput laut. Perairan Indonesia dalam perkiraan memiliki luas area untuk kegiatan budi daya rumput laut mencapai 1.110.900 ha, sementara kegiatan pengembangan budi daya rumput laut baru memanfaatkan lahan seluas 222.180 ha, atau sekitar 20% dari luas areal potensial yang tersedia.

Pemerintah Indonesia melalui Kementerian Kelautan dan Perikanan bekerja sama dengan *Korea Institute of Industrial Technology* (Kitech) melakukan program penelitian dan pengembangan teknologi budi daya rumput laut untuk biodiesel. Dalam rangka tersebut, saat ini telah dibudidayakan jenis rumput laut varietas *Gellidium sp.* yang akan dimanfaatkan untuk pengembangan biodiesel, di antaranya di Maluku seluas 20.000 hektar dan Belitung seluas 10.000 hektar. Selain itu, perairan Lombok dan Papua sangat berpotensi menjadi lokasi budidaya *Gellidium sp.* di masa depan. Sejak 2006, untuk pengembangan budidayanya, KKP telah bekerja sama dengan *Surfactant and Bioenergy Research Center*, Institut Pertanian Bogor (SBRC-IPB) dalam pemanfaatan kawasan pesisir dan pemberdayaannya.

Menurut data dari Inha University Korea, satu hektar areal rumput laut bisa menghasilkan 58.700 liter biodiesel, dengan asumsi kandungan minyak dalam rumput laut yang dihasilkan berkisar 30%. Sungguh sumber daya kelautan seperti rumput laut menyimpan potensi bioteknologi kelautan yang sangat besar. []

BAB VI
BENCANA KELAUTAN

A. LAUT SEBAGAI POTENSI BENCANA

Laut yang memberi banyak manfaat kepada manusia berupa lokasi mata pencaharian untuk memenuhi kebutuhan hidupnya, menjadi prasarana transportasi antarpulau yang murah, menjadi wilayah pariwisata bahari, bahkan menjadi media inspirasi dalam banyak hal, ternyata berpotensi juga sebagai bencana bagi kehidupan manusia. Terbukti bahwa laut berpotensi menjadi bencana yang sangat mengerikan. Informasi ini tidak hanya diperoleh dari informasi Al-Qur'an, tetapi nyata terjadi di hadapan kita berupa peristiwa-peristiwa di berbagai belahan dunia. Hal tersebut dapat dilihat mulai dari badai dan gelombang laut yang menerpa perkampungan-perkampungan di pesisir pantai; erosi dan abrasi laut, sampai tsunami yang memorakporandakan apa saja yang dilaluinya. Kejadian tersebut sebagiannya diakibatkan ulah manusia, dan sebagian lagi berupa peristiwa alam untuk menunjukkan ketidakberdayaan manusia di hadapan Pencipta. Manusia belum mampu memprediksi secara akurat di mana dan kapan akan terjadi sebuah bencana alam dari keganasan laut, kecuali bencana yang diakibatkan oleh tangan-tangan manusia sendiri.

Bencana yang diakibatkan oleh tangan-tangan manusia, sebagaimana telah banyak terjadi di muka bumi (informasi meyakinkan dapat dibaca

pada Surah ar-Rūm/30: 41), antara lain berupa:

1. Penghancuran hutan-hutan bakau (*mangrove*) yang terbukti sangat efektif menahan ganasnya ombak yang dapat mengikis pantai, dan menjadi tempat berkembang biaknya berbagai jenis biota laut;
2. Menjadikan laut sebagai tempat pembuangan sampah yang sulit diurai oleh alam, limbah berbahaya dari industri, dan racun-racun lain yang mengganggu dan mencemari kehidupan di pantai yang dibawa oleh aliran sungai;
3. Penebangan hutan secara serampangan (*illegal logging*) yang dapat menyebabkan erosi dan pendangkalan wilayah pantai akibat lumpur yang terbawa banjir;
4. Industri pariwisata yang tidak berwawasan lingkungan yang merusak ekosistem di sekitar pantai;
5. Perusakan terumbu karang yang menjadi habitat berbagai biota laut menyebabkan keseimbangan kehidupan di laut terganggu;
6. Penambangan pasir pantai, mineral, dan berbagai tambang lainnya yang tidak memedulikan kelestarian alam dan lingkungan;
7. Pengeboman ikan sebagai jalan pintas mencari keuntungan sebanyak-banyaknya tanpa disadari akibat jangka panjangnya;
8. berbagai tindakan lainnya yang mengakibatkan kerusakan dan bencana yang berhubungan dengan laut.

Allah telah menginformasikan melalui wahyu-Nya bahwa telah—dan akan terus berlanjut jika tidak disadari oleh manusia—terjadi kerusakan di darat dan laut akibat perbuatan manusia sendiri. Mari kita cermati firman Allah dalam Surah ar-Rūm/30: 41 berikut.

ظَهَرَ الْفَسَادُ فِى الْبَرِّ وَالْبَحْرِ بِمَا كَسَبَتْ اَيْدِى النَّاسِ لِيُذِيْقَهُمْ بَعْضَ الَّذِيْ عَمِلُوْا لَعَلَّهُمْ يَرْجِعُوْنَ

Telah tampak kerusakan di darat dan di laut disebabkan karena perbuatan tangan manusia; Allah menghendaki agar mereka merasakan sebagian dari (akibat) perbuatan mereka, agar mereka kembali (ke jalan yang benar). (ar-Rūm/30: 41)

Ibnu 'Āsyūr dalam menafsirkan ayat ini antara lain menerangkan bahwa sejatinya Allah telah menciptakan alam semesta ini dengan suatu sistem yang serasi dan seimbang, sesuai dengan kemasalahatan umat manusia. Akan tetapi, mereka melakukan aktivitas yang buruk dan merusak sehingga berakibat pada ketidakseimbangan dalam sistem kerja alam (Ibnu 'Āsyūr, 2000: 21/65). Lebih lanjut dikatakan

bahwa *al-fasād* yang merupakan antonim dari *aṣ-ṣalāḥ* merupakan wujud dari buruknya kondisi di bumi, baik di darat maupun laut, tempat manusia mengambil banyak manfaat. Kerusakan di laut misalnya berupa langkanya ketersediaan ikan, menipisnya jumlah mutiara dan batu mulia yang telah lama dikenal di negara-negara Arab, munculnya banyak topan di laut, dan keringnya sumber-sumber air yang merupakan kebutuhan manusia (Ibnu 'Āsyūr, 2000: 21/64).

Apabila laut tercemar, pantai rusak, biota laut tak berkembang, habitat makhluk hidup rusak, ekosistem tidak berjalan, dan sumber-sumber air menjadi menipis atau tercemar, maka dampak negatifnya akan dirasakan oleh manusia itu sendiri. Boleh jadi dampak negatif keserakahan dan keserampangan itu tidak hanya dirasakan oleh generasi saat ini, tetapi akibat panjangnya akan dirasakan oleh generasi penerus di masa datang. Terjadinya *global warming* (pemanasan global) adalah salah satu contoh kerusakan yang terjadi dalam keseimbangan alam tempat manusia hidup bersama dengan makhluk lain. Pemanasan global dalam jangka panjang dapat melelehkan timbunan es abadi di daerah kutub dan menaikkan permukaan air laut di seluruh dunia, yang itu berarti menenggelamkan banyak pulau, baik yang berpenghuni maupun yang tidak berpenghuni.

Sementara itu, kedahsyatan laut dengan volume airnya yang sangat besar dan kekuatan gelombangnya yang sangat dahsyat mampu menghanyutkan, menenggelamkan, dan melumatkan apa saja yang dilewati oleh arus gelombangnya pada situasi-situasi tertentu. Laut memang dapat ditundukkan melalui pelayaran (sebagaimana telah dijelaskan di depan, misalnya dalam Surah al-Isrā'/17: 66 dan al-Jāṡiyah/45: 12), tetapi pada situasi tertentu ia tak dapat dikendalikan oleh manusia, yakni ketika ia menjadi media azab dari Allah. Hal ini dapat dipahami dari ayat-ayat yang berkenaan dengan azab terhadap Firaun yang menganggap dirinya tuhan, misalnya Surah al-Baqarah/2: 50 dan al-Qaṣaṣ/28: 40. (Lihat pula Surah aż-Żāriyāt/51: 40 dan Ṭāhā/20: 78).

وَاِذْ فَرَقْنَا بِكُمُ الْبَحْرَ فَاَنْجَيْنٰكُمْ وَاَغْرَقْنَآ اٰلَ فِرْعَوْنَ وَاَنْتُمْ تَنْظُرُوْنَ

Dan (ingatlah) ketika Kami membelah laut untukmu, sehingga kamu dapat Kami selamatkan dan Kami tenggelamkan (Firaun dan) pengikut-pengikut Firaun, sedang kamu menyaksikan. (al-Baqarah/2: 50)

فَاَخَذْنٰهُ وَجُنُوْدَهٗ فَنَبَذْنٰهُمْ فِى الْيَمِّۚ فَانْظُرْ كَيْفَ كَانَ عَاقِبَةُ الظّٰلِمِيْنَ

Maka Kami siksa dia (Firaun) dan bala tentaranya, lalu Kami lemparkan mereka ke dalam laut. Maka perhatikanlah bagaimana kesudahan orang yang zalim. (al-Qaṣaṣ/28: 40)

Ketika Nabi Musa memimpin Bani Israil keluar dari Mesir menuju Palestina dan dikejar oleh Firaun, mereka harus melalui Laut Merah sebelah utara. Allah meminta Musa memukul laut itu dengan tongkatnya. Perintah itu dilaksanakan oleh Musa hingga laut terbelah dan terbentanglah jalan raya di tengah-tengahnya sehingga Musa dan kaumnya melalui jalan itu dan selamat sampai ke seberang. Di belakang mereka Firaun dan pengikut-pengikutnya membuntuti melalui jalan yang sama, tetapi begitu mereka sampai di tengah-tengah laut, jalan tersebut kembali tertutup dan menenggelamkan mereka.

Potensi bahaya di laut tidak hanya berupa arus gelombang di permukaannya yang dapat menghanyutkan benda-benda, tetapi juga arus gelombang di bagian bawahnya, palung laut dalam yang gelap, kekurangan persediaan oksigen, dan pusaran air yang mampu menarik benda-benda keras sekalipun. Bahaya laut dalam yang gelap gulita telah diisyaratkan oleh Allah dalam Surah an-Nūr/24: 40,

اَوْ كَظُلُمٰتٍ فِيْ بَحْرٍ لُّجِّيٍّ يَّغْشٰىهُ مَوْجٌ مِّنْ فَوْقِهٖ
مَوْجٌ مِّنْ فَوْقِهٖ سَحَابٌۗ ظُلُمٰتٌۢ بَعْضُهَا فَوْقَ بَعْضٍۗ اِذَآ اَخْرَجَ يَدَهٗ لَمْ يَكَدْ يَرٰىهَاۗ وَمَنْ لَّمْ يَجْعَلِ اللّٰهُ لَهٗ نُوْرًا فَمَا لَهٗ مِنْ نُّوْرٍ

Atau (keadaan orang-orang kafir) seperti gelap gulita di lautan yang dalam, yang diliputi oleh gelombang demi gelombang, di atasnya ada (lagi) awan gelap. Itulah gelap gulita yang berlapis-lapis. Apabila dia mengeluarkan tangannya hampir tidak dapat melihatnya. Barang siapa tidak diberi cahaya (petunjuk) oleh Allah maka dia tidak mempunyai cahaya sedikit pun. (an-Nūr/24: 40)

Manusia yang sering berinteraksi dengan lautan tahu persis bahaya yang mengancam di tengah lautan, berupa kemungkinan tenggelam, keganasan badai, gangguan ikan hiu dan sejenisnya, atau terbawa arus lalu tersesat. Dalam situasi sulit, secara naluriah manusia akan terus berharap pertolongan dan perlindungan dari Yang Mahakuasa, seperti tercantum dalam Surah al-An'ām/6: 63,

قُلْ مَنْ يُّنَجِّيْكُمْ مِّنْ ظُلُمٰتِ الْبَرِّ وَالْبَحْرِ تَدْعُوْنَهٗ تَضَرُّعًا وَّخُفْيَةً ۚ لَىِٕنْ اَنْجٰىنَا مِنْ هٰذِهٖ لَنَكُوْنَنَّ مِنَ الشّٰكِرِيْنَ

Katakanlah (Muhammad), "Siapakah yang dapat menyelamatkan kamu dari bencana di darat dan di laut, ketika kamu berdoa kepada-Nya dengan rendah hati dan dengan suara yang lembut?" (Dengan mengatakan), "Sekiranya Dia menyelamatkan kami dari (bencana) ini, tentulah kami menjadi orang-orang yang bersyukur." (al-An'ām/6: 63)

Hal ini wajar karena pada diri manusia sebenarnya telah ditanamkan rasa kebertuhanan, meskipun mungkin saja dalam kehidupan sehari-hari rasa itu tertekan ke bawah sadarnya. Yang paling ironis adalah jika ada di antara manusia dalam situasi gawat terus memohon pertolongan kepada Allah agar selamat, namun setelah mencapai daratan ia lupa kepada Allah yang telah menyelamatkannya, bahkan lebih dari itu ia terus berbuat kerusakan di bumi, di darat dan di laut, meskipun laut itu telah hampir mencelakakannya. Allah telah mengingatkan manusia dalam firman-Nya sebagaimana tercantum dalam Surah al-Isrā'/17: 67,

وَاِذَا مَسَّكُمُ الضُّرُّ فِى الْبَحْرِ ضَلَّ مَنْ تَدْعُوْنَ اِلَّآ اِيَّاهُ ۚ
فَلَمَّا نَجّٰىكُمْ اِلَى الْبَرِّ اَعْرَضْتُمْ ۗ وَكَانَ الْاِنْسَانُ كَفُوْرًا

Dan apabila kamu ditimpa bahaya di lautan, niscaya hilang semua yang (biasa) kamu seru, kecuali Dia. Tetapi ketika Dia menyelamatkan kamu ke daratan, kamu berpaling (dari-Nya). Dan manusia memang selalu ingkar (tidak bersyukur). (al-Isrā'/ 17: 67)

Laut yang telah diciptakan Allah merupakan karunia yang sangat besar bagi umat manusia karena di sana ia mencari penghidupan yang tersedia melimpah, memobilisasi diri dan barang-barangnya dari satu wilayah ke wilayah lain, menjadi persediaan sumber air yang luar biasa besar bagi kehidupan flora dan fauna, tetapi juga berpotensi menjadi bencana manakala manusia tidak mampu bersahabat dengan lingkungannya dengan menjaga kelestariannya dan menyukuri eksistensinya sebagai karunia Ilahi. Bencana kelautan dapat berupa gelombang besar akibat badai (gelombang badai), tsunami, erosi pantai, dan pencemaran laut. Interaksi laut dan atmosfer yang dikenal sebagai fenomena El Niño dan La Niña dapat menimbulkan bencana kekeringan dan banjir. Karena ulah perbuatan manusia itu sendiri laut yang merupakan karunia dari Allah dapat mendatangkan azab bagi manusia.

B. GELOMBANG BADAI

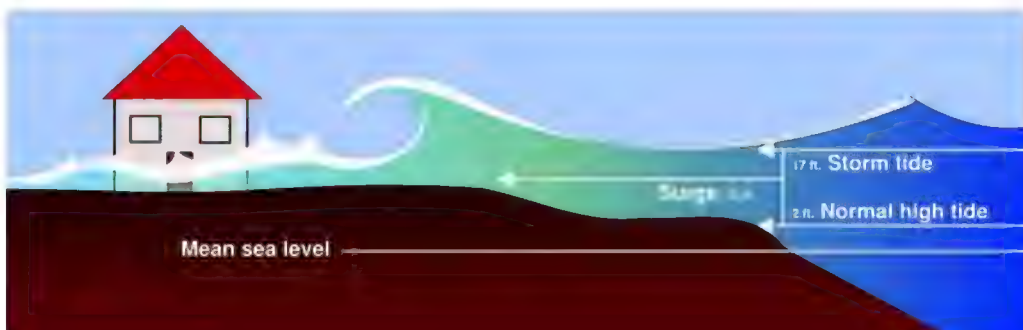
Gelombang badai merupakan gelombang panjang yang kecepatan penjalarannya sangat bergantung pada kedalaman perairan. Gelombang ini dibangkitkan oleh badai (*storm*) yang memiliki kecepatan tinggi dan akibat tekanan atmosfer yang rendah. Badai yang berembus ke arah pantai dapat mengangkat permukaan laut di pantai sehingga dapat menggenangi kawasan pesisir. Tekanan udara rendah yang menyertai badai menyebabkan kenaikan tinggi muka laut; laut seolah terisap oleh badai sehingga muka laut-

Gambar 6.1
Proses *inverted barometer effect*: naiknya permukaan air laut akibat pengaruh tekanan atmosfer yang rendah. *(Sumber: http://www.oc.nps.edu/nom/day1/partc.html)*

nya naik. Proses ini dikenal dengan sebutan *inverted barometer effect* (Gambar 6.1).

Pergerakan badai menuju daratan menyebabkan perpindahan pusat tekanan rendah yang berperan dalam membangkitkan gelombang laut yang merambat ke pantai. Dalam penjalarannya menuju pantai gelombang ini mengalami peningkatan tinggi gelombang akibat pengaruh pendangkalan. Badai yang terjadi di lepas pantai mengakibatkan kenaikan muka laut di pantai yang dikenal sebagai *storm surge*. Bila *storm surge* ini terjadi bersamaan dengan saat pasang tinggi (*high tide*) maka tinggi muka laut mengalami peningkatan yang besar. Kenaikan muka laut akibat kombinasi pengaruh *storm surge* dan pasut disebut *storm tide*. Gelombang yang bergerak di atas *storm tide* ini dapat masuk jauh ke daerah pesisir dan merusak bangunan serta infrastruktur di sana (Gambar 6.2). Gelombang ini disebut gelombang badai pasang yang tingginya dapat mencapai ± 4–5 m atau lebih. Gelombang ini mempunyai daya rusak yang besar seperti terlihat pada Gambar 6.3.

Kenaikan muka air laut akibat *storm tide* dan gelombang badai pasang yang menyertainya dapat mengakibatkan banjir di daerah pesisir pantai jika tinggi muka laut melebihi tinggi daratan. Di Indonesia banjir air laut ini dikenal sebagai rob. Banjir rob dapat merendam kawasan pesisir dan melumpuhkan kehidupan sosial dan ekonomi penduduk. Dengan tinggi dan

Gambar 6.2
Dampak gelombang badai pada bangunan di sekitar pantai. *(Sumber: http://www.nhc.noaa.gov/HAW2/english/storm_surge.shtml)*

Gambar 6.3
Dampak gelombang Badai Sandy di Pantai Avenue, New Jersey, Amerika. *(Sumber: http://www.nwf.org/Global-Warming/School-Solutions/Eco-Schools-USA)*

Hasil analisis oleh Subbidang Informasi Meteorologi Publik BMKG (Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika) terhadap data badai tropis selama 41 tahun (1965–2005) yang terjadi di wilayah 0–50° LS dan 90–150° (wilayah Indonesia bagian selatan ekuator, Samudra Hindia bagian timur, benua Australia, Papua Nugini, dan sebagian Samudra Pasifik Barat) menunjukkan bahwa bulan Januari, Februari, dan Maret adalah periode puncak musim tumbuhnya badai tropis. Pada bulan-bulan tersebut rata-rata terjadi 3 sampai 4 kali badai tropis.

Gelombang yang terbentuk akibat badai di Laut Cina Selatan dan Lautan Hindia bagian barat, di perairan sekitar Afrika Selatan, dan di bagian timur, di perairan barat daya Australia, dapat memasuki perairan Indonesia dan merusak kawasan pesisirnya. Gelombang badai pasang dengan tinggi 2–6 m disertai kecepatan angin 49 km/jam telah menerjang 11 provinsi (Nanggroe Aceh Darussalam, Sumatera Utara, Sumatera Barat, Bengkulu, Lampung, Banten, Jawa Barat, Jawa Tengah, Daerah Istimewa Yogyakarta, Jawa Timur, dan Bali) pada Jumat, 18 Mei 2007 (Kompas, 19 Mei 2007). Gelombang badai pasang tersebut dibangkitkan

besarnya gelombang badai pasang, hal tersebut sangat berbahaya bagi kapal-kapal yang sedang berlabuh maupun yang sedang berlayar di perairan pantai.

Tidak seperti Amerika, Jepang, Australia, Filipina yang sering diterjang badai, Indonesia beruntung karena bukan merupakan daerah pembentukan badai (*storm*) karena berada di daerah khatulistiwa. Meskipun demikian, beberapa tempat di wilayah Indonesia yang dekat dengan jalur badai tropis terkena pengaruh tidak langsung, yaitu berupa angin kencang, kenaikan muka air di pantai akibat badai (*storm surge*), dan hujan lebat.

oleh badai di perairan pantai selatan Afrika Selatan, merambat sebagai *swell* memasuki perairan pantai Indonesia. Khusus untuk daerah pesisir selatan Jawa, daerah-daerah yang dilaporkan terimbas gelombang badai pasang tersebut adalah Pelabuhan Ratu (Sukabumi), Pantai Rancabuaya (Garut), Pangandaran, Bantul (Yogyakarta), Pantai Baron (pantai selatan Gunung Kidul), perairan pantai selatan Kabupaten Kebumen, perairan pantai bagian timur Kabupaten Cilacap, dan Pantai Bajulmati (Malang). Di antara daerah-daerah tersebut, tinggi gelombang tertinggi terjadi di pantai selatan Kebumen, Bantul, dan Cilacap (Kompas, 19 Mei 2007).

Gelombang tinggi yang terbentuk akibat imbas dari badai Nicholas yang melanda Australia pada Februari 2008 telah merusak pesisir selatan Jawa dan Bali. Ratusan rumah di enam kecamatan di pesisir selatan Jawa rusak dihantam gelombang tinggi. Berdasarkan laporan Departemen Kelautan dan Perikanan (sekarang Kementerian Kelautan dan Perikanan), industri perikanan mengalami kerugian ± Rp. 90 miliar dan 59.000 nelayan tidak dapat melaut akibat cuaca buruk tersebut. Selain itu, dampak gelombang tinggi ini sampai pula ke perairan utara Jawa. Pulau Karimunjawa, Jepara, mengalami krisis pangan karena sulitnya pengiriman pangan yang biasanya menggunakan transportasi laut.

Gelombang badai telah menelan korban jiwa di daerah lintang menengah tempatnya terbentuk. Misalnya saja di Teluk Meksiko, tepatnya pesisir Galveston, Texas, AS, 6.000 orang meninggal pada tahun 1900. Sementara itu, di Teluk Benggala, pesisir Bangladesh, lebih dari 300.000 orang meninggal pada tahun 1970 akibat gelombang badai yang tingginya diperkirakan mencapai 12 m (Garrison, 2006).

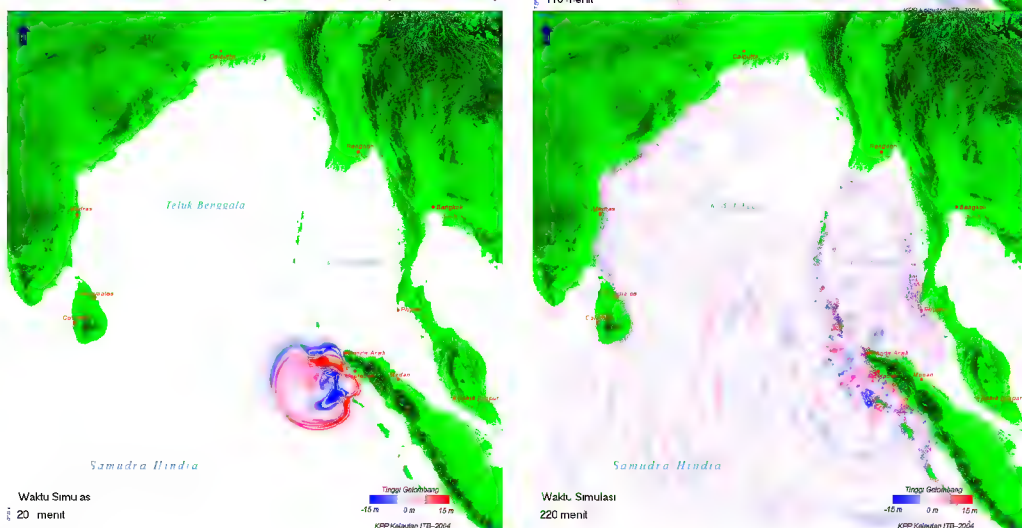
Kondisi lingkungan pesisir yang telah turun daya dukungnya akibat aktivitas manusia dalam upaya mengembangkan kawasan pesisir dan memanfaatkan sumber daya lautnya akan lebih diperparah lagi oleh dampak gelombang badai yang merusak.

C. TSUNAMI

Dalam Surah at-Takwīr/81: 6 Allah berfirman mengenai kondisi laut yang dijadikan-Nya meluap. Mungkin ayat ini dapat dikaitkan dengan kejadian tsunami yang mempunyai tinggi gelombang mencapai 35 m.

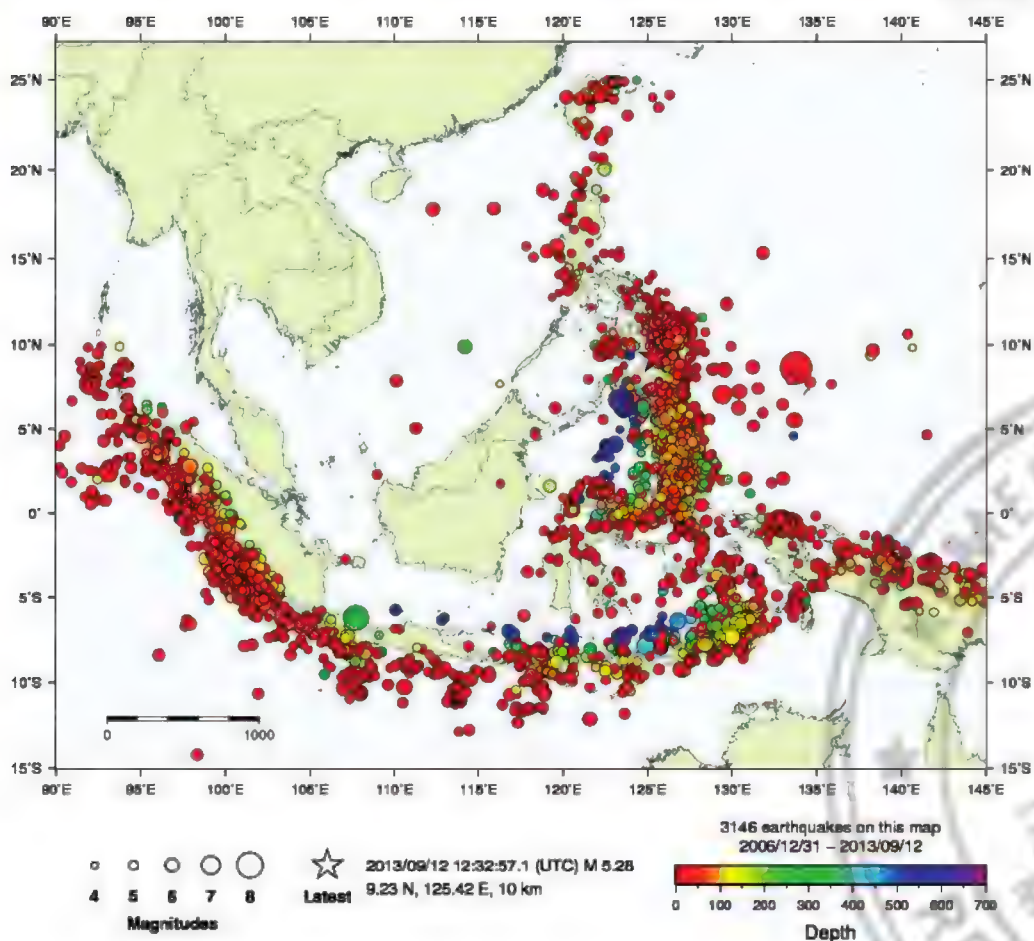
Dan apabila lautan dijadikan meluap. (al-Infiṭār/82: 3)

Tsunami adalah gelombang panjang yang terbentuk akibat adanya perubahan dasar laut atau perubahan badan air yang terjadi secara tiba-tiba dan impulsif akibat gempa bumi, letusan gunung api bawah laut, longsoran bawah laut, runtuhan gunung es, ledakan nuklir, atau jatuhnya benda-benda angkasa ke permukaan laut. Dampak tsunami sangat merusak kawasan pantai dan menimbulkan banyak korban jiwa seperti yang telah terjadi di Aceh pada 2004. Tidak saja Aceh, gelombang tsunami ini juga merusak pantai di Thailand, India, dan Srilanka. Gambar 6.4 memperlihatkan simulasi penjalaran gelombang tsunami Aceh pada 2004 yang sampai ke Thailand, India, dan Srilanka. Di Aceh, tsunami ini telah memakan sekitar 283.000 korban jiwa dan me-

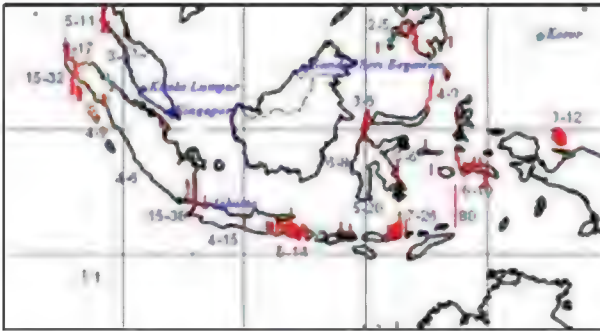
Gambar 6.4
Simulasi penjalaran gelombang tsunami Aceh, 2004.
(Sumber: Latief, dkk., 2006)

Gambar 6.5
Dampak tsunami Aceh, 2004.
(Sumber: http://www.boston.com/bigpicture/2009/12/five_years_since_the_tsunami.html)

morakporandakan daerah Aceh (Gambar 6.5).

Indonesia seringkali mengalami gempa bumi yang disertai tsunami karena terletak pada zona batas 4 lempeng bumi yang sangat aktif sehingga mempunyai aktivitas tektonik dan vulkanik yang sangat tinggi.

Indonesia memiliki banyak zona-zona patahan aktif dan sebaran gunung api seperti terlihat pada Gambar 6.6. Karena sebagian patahan dan gunung api berada di dasar laut maka kejadian gempa dan letusan gunung apinya berpotensi membangkitkan tsunami. Selain dua sumber tsunami, yaitu gempa tektonik dan letusan gunung api bawah laut, longsoran bawah laut yang sering dipicu oleh kejadian gempa dan letusan gunung api juga dapat memicu tsunami.

Gambar 6.6
Lokasi gempa bumi (segiempat kecil) dan tsunami (lingkaran berwarna) di Kepulauan Indonesian dan sekitarnya (Latief dan Hadi, 2007). *(Sumber data: andikaeldon.wordpress.com, 2005)*

Sejarah telah mencatat bahwa dari tahun 1600 sampai 2005, korban jiwa akibat tsunami di Indonesia tidak kurang dari 361.905 jiwa (modifikasi dari Latief, et.al., 2000). Dua kejadian tsunami yang memakan korban jiwa sangat besar yaitu: (1) Tsunami akibat letusan Gunung Krakatau pada 1883 (sekitar 36.000 orang); dan (2) Tsunami Aceh pada 2004 (sekitar 283.000 orang).

Tinggi tsunami bervariasi di sepanjang pantai Indonesia. Tsunami tertinggi yang pernah tercatat adalah tsunami Oma pada 1674 yang terjadi di Laut Banda dengan tinggi mencapai 80 meter dan menewaskan 2.970 orang. Tsunami tertinggi kedua adalah tsunami Krakatau pada 1883 dengan tinggi 36 meter yang menelan korban jiwa sebanyak 36.417 orang. Yang terakhir adalah tsunami Aceh

Gambar 6.7
Distribusi tinggi tsunami di sepanjang pantai Indonesia. *(Sumber: Latief dan Hadi, 2007)*

pada 2004 dengan tinggi maksimum sekitar 30 meter di Lokngha dan menelan korban sekitar 283.000 jiwa. Gambar 6.7 memperlihatkan distribusi tinggi tsunami di sepanjang pantai Indonesia. Tsunami di Indonesia umumnya dibangkitkan oleh sumber tsunami lokal, yang dibangkitkan oleh gempa bumi. Waktu tibanya sangat singkat, kurang dari 60 menit, bahkan pada beberapa kasus tsunami tiba kurang dari 15 menit, seperti tsunami Flores pada 1992 dan tsunami Biak pada 1996.

Sebagai gelombang panjang, kecepatan rambat tsunami bergantung pada kedalaman laut. Di perairan dalam, tsunami mampu bergerak dengan kecepatan 500–1.000 kilometer per jam. Di perairan dangkal, karena pengaruh gesekan dasar, kecepatannya berkurang hingga beberapa puluh kilometer saja per jam. Kedalaman perairan sangat memengaruhi ketinggian tsunami; efek pendangkalan yang dikenal sebagai *shoaling effect* berperan dalam memperbesar tinggi tsunami. Di laut dalam amplitudo tsunami yang hanya memiliki ketinggian satu meter bisa meningkat hingga mencapai puluhan meter di pantai.

Informasi yang didapat dari *Katalog Tsunami Indonesia* yang dikompilasi oleh Latief, dkk. (2000) menunjukkan setidaknya telah terjadi 110 kali bencana tsunami di Indonesia, 100 di antaranya disebabkan oleh gempa bumi, 9 kali akibat letusan gunung berapi, dan 1 kali akibat tanah longsor.

Bahaya tsunami dan kerusakan yang ditimbulkannya sangat tergantung pada kondisi morfologi pantai tempat tsunami itu terjadi. Seberapa jauh tsunami dapat masuk ke kawasan pantai bergantung pada kondisi pasang surut laut saat tsunami tiba di pantai. Tsunami yang tiba di pantai saat air pasang dapat masuk lebih jauh ke kawasan pantai dibandingkan bila tsunami tiba di pantai saat surut. Tsunami kecil yang terjadi pada saat pasang tinggi dapat memberi dampak jauh lebih besar daripada dampak yang ditimbulkan oleh tsunami yang lebih besar tapi tiba pada saat surut terendah. Kondisi pasang surut sangat menentukan seberapa besar dampak tsunami di suatu kawasan pesisir.

Kerusakan dan kehancuran karena tsunami merupakan hasil langsung dari terjangan gelombang dan arus tsunami, sementara korban jiwa terjadi karena tenggelam digulung tsunami. Arus tsunami yang kuat juga mengakibatkan terjadinya erosi pada kaki pondasi yang menyebabkan rubuhnya jembatan, menyeret rumah, dan membalikkan kendaraan. Kerusakan yang cukup parah juga disebabkan oleh puing-puing bangunan yang mengapung, termasuk kapal, mobil, dan pepohonan yang dapat menjadi benda-benda berbahaya ketika menghantam gedung, dermaga, dan kendaraan, termasuk manusia. Kerusakan ikutan lainnya berupa kobaran api yang berasal dari tumpahan minyak atau ledakan kapal yang hancur di pelabuhan. Pecahnya tempat penyimpanan minyak di pantai dapat menimbulkan kerusakan yang terkadang lebih parah daripada dampak langsung gelombang tsunami. Bahaya ikutan lainnya dapat disebabkan oleh polusi limbah dan bahan kimia yang dapat mencemari air bersih.

D. EROSI PANTAI DAN PENCEMARAN

Surah ar-Rūm /30: 41 menyatakan bahwa telah terjadi kerusakan di darat dan di laut akibat perbuatan tangan manusia. Pernyataan dalam ayat tersebut telah terbukti dan telah menimbulkan kerugian yang besar bagi manusia. Kegiatan manusia dalam upaya pemanfaatan sumber daya daratan dan lautan yang itu tidak memperhatikan kelestarian lingkungan telah menimbulkan kerusakan, baik di darat maupun laut. Kerusakan yang terjadi di kawasan pesisir dan laut dapat berupa erosi pantai yang timbul akibat kikisan gelombang dan arus laut dan kerusakan akibat pencemaran.

ظَهَرَ الْفَسَادُ فِى الْبَرِّ وَالْبَحْرِ بِمَا كَسَبَتْ اَيْدِى
النَّاسِ لِيُذِيْقَهُمْ بَعْضَ الَّذِيْ عَمِلُوْا لَعَلَّهُمْ يَرْجِعُوْنَ

Telah tampak kerusakan di darat dan di laut disebabkan karena perbuatan tangan manusia; Allah menghendaki agar mereka merasakan sebagian dari (akibat) perbuatan mereka, agar mereka kembali (ke jalan yang benar). (ar-Rūm /30: 41)

1. Erosi Pantai

Erosi pantai adalah mundurnya garis pantai akibat terkikis gelombang dan arus laut (Gambar 6.8). Erosi pantai lebih banyak diakibatkan oleh ulah manusia. Pengambilan terumbu karang dan alih fungsi hutan bakau (*mangrove*) menjadi tambak ikan dan udang telah mempercepat terjadinya erosi pantai di Indonesia. Terumbu karang secara

Gambar 6.8
Erosi pantai akibat kikisan gelombang dan arus laut di pesisir tundra Alaska, Amerika.
(sumber: http://alaska.usgs.gov/)

alami berperan sebagai pelindung pantai karena dapat meredam energi gelombang yang datang ke pantai. Gelombang akan pecah sebelum mencapai pantai sehingga mengurangi kekuatan gelombang yang sampai di pantai. Hilangnya terumbu karang menyebabkan gelombang pecah di pantai sehingga pantai akan mengalami erosi akibat empasan gelombang yang kuat. Hutan *mangrove* juga berperan sebagi pelindung alami dari pantai karena akar-akar *mangrove* mampu menahan pukulan gelombang sehingga dapat menghambat pengikisan pantai oleh gelombang dan arus laut.

Pembangunan pelabuhan, landasan pacu pesawat yang menjorok ke lepas pantai, seperti di Bali, dan pembangunan bangunan pelindung pantai seperti *groin* dan *jetty* juga berkontribusi dalam mempercepat terjadinya erosi pantai. Pelabuhan dan bangunan pelindung pantai yang dibangun tanpa memahami mekanisme interaksi antara gelombang, arus, dan bangunan pelindung pantai justru dapat mengakibatkan erosi pantai.

Pemanasan global yang mencairkan es di kutub berdampak pada naiknya permukaan laut yang mengakibatkan jangkauan gelombang dapat masuk lebih jauh ke arah darat sehingga pengikisan pantai oleh gelombang dan arus menjadi bertambah luas. Di samping itu, pemanasan global juga mengakibatkan perubahan iklim yang pada gilirannya meningkatkan frekuensi terjadinya badai. Badai yang terjadi jauh di lepas pantai mengakibatkan terjadinya gelombang besar yang memiliki daya rusak yang besar sehingga mempercepat proses erosi pantai. Pantai selatan Jawa sering mendapat pukulan gelombang besar akibat badai, atau sering disebut gelombang badai, yang terjadi di Lautan Hindia di perairan barat laut Australia, sementara pantai utara Jawa sering mendapat pukulan gelombang besar akibat badai yang terjadi di Laut Cina

Selatan. Gelombang badai akibat badai yang terjadi di perairan sebelah timur Afrika Selatan juga menjadi ancaman bagi pantai barat Sumatera dan selatan Jawa dan Nusa Tenggara Barat. Dampak yang diakibatkan erosi akibat badai ini sangat besar. Garis pantai mundur jauh ke arah darat dan permukiman penduduk, pantai wisata, tambak, serta infrastruktur lainnya menjadi rusak. Erosi pantai juga berpotensi menenggelamkan pulau-pulau kecil di perairan Indonesia.

Dari dari Kementerian Kelautan dan Perikanan menjelaskan ada sekitar 20 provinsi dan ratusan lokasi yang sudah mengalami erosi pantai. Kementerian Pekerjaan Umum (PU) mengatakan bahwa sebanyak 20% dari garis pantai di sepanjang wilayah Indonesia dilaporkan mengalami kerusakan akibat berbagai permasalahan, antara lain perubahan lingkungan dan erosi pantai. Pantai di Pulau Bali telah mengalami erosi sekitar 91 kilometer atau 20,8 persen dari garis pantai pulau tersebut.

Mengatasi (atau paling tidak menghambat) masalah erosi pantai ini dapat dilakukan dengan penanganan lunak, yaitu penanaman vegetasi di pantai seperti *mangrove* atau vegetasi lainnya, dan penanganan keras, yaitu dengan membangun pemecah ombak (*break water*), *revetment*, dan pembentukan tembok laut (*groin*). Masing-masing penanganan tersebut memiliki kekurangan. Penanganan keras seperti membangun tembok laut tentunya memerlukan biaya yang sangat besar, sedangkan penanaman vegetasi *mangrove* tidak dapat dilakukan di semua jenis pantai karena *mangrove* hanya tumbuh di daerah pantai yang berlumpur.

2. Pencemaran Laut

Pencemaran laut terutama terjadi di periaran di sekitar muara sungai dan perairan kota-kota besar. Secara umum pencemaran laut didefinisikan dengan masuknya material pencemar berupa limbah padat atau cair ke dalam laut. Limbah yang masuk ke laut ini dapat berupa limbah kimia yang berasal dari kawasan industri, limbah pertanian berupa pestisida dan sisa-sisa pupuk, dan limbah domestik (organik dan nonorganik). Limbah padat berupa plastik, potongan-potongan kayu dengan berbagai ukuran, dan kaleng-kaleng bekas telah menjadi masalah serius di perairan pantai (Gambar 6.9). Limbah padat dapat terapung atau tenggelam ke dasar laut. Limbah padat yang terapung dapat terbawa arus laut jauh dari daerah sumbernya, seperti limbah padat yang berasal dari Teluk Jakarta terbawa arus dan mencemari

Gambar 6.9
Limbah plastik mencemari pantai dan laut. *(Sumber: http://ladeva.files.wordpress.com/)*

perairan Kepulauan Seribu. Limbah yang masuk ke laut berdampak negatif baik bagi lingkungan perairan maupun pada manusia. Tercemarnya perairan laut oleh limbah menyebabkan dilampauinya baku mutu perairan untuk berbagai peruntukan.

Limbah organik yang mengandung nitrogen dan fosfor yang berasal dari limbah pertanian dan limbah rumah tangga berupa detergen yang banyak mengandung fosfor mengakibatkan pertumbuhan fitoplankton atau alga berlimpah (*blooming fitoplankton*) yang dikenal sebagai *red tide*. Hal ini terjadi karena nitrogen dan fosfor merupakan nutrien atau zat hara yang berguna bagi pertumbuhan fitoplankton atau alga. Pertumbuhan fitoplankton yang berlimpah dapat menutupi permukaan laut dalam area yang cukup luas dan menurunkan kualitas air dan mengganggu stabilitas populasi organisme lainnya. Di samping itu, pembusukan plankton yang mati dalam jumlah yang besar membutuhkan oksigen sehingga konsentrasi oksigen yang larut menjadi berkurang. Sebagian alga mengandung racun atau toksin yang dapat mematikan ikan dan biota laut lainnya. Kombinasi antara pengaruh berkurangnya konsentrasi oksigen dan racun inilah yang menyebabkan kematian ikan secara massal. Menurut catatan, peristiwa *red tide* yang menyebabkan kemati-

Gambar 6.10
Tumpahan minyak di Laut Timor; ladang minyak Montara, 29 Agustus–3 November 2009.
(Sumber: themaritimeblog.com)

an ikan dalam jumlah besar pernah terjadi di Teluk Jakarta pada 1992, 1994, 1997, 2004, 2005, dan 2006. Selain mengakibatkan kematian ikan dalam jumlah besar, *red tide* juga mendatangkan kerugian bagi petambak udang dan bandeng, juga berdampak pada sektor parawisata karena berkurangnya wisatawan yang berkunjung ke pantai karena pantai menjadi kotor dan bau akibat bangkai ikan. *Red tide* juga mengakibatkan penurunan kualitas air dan menganggu kestabilan populasi organisme laut.

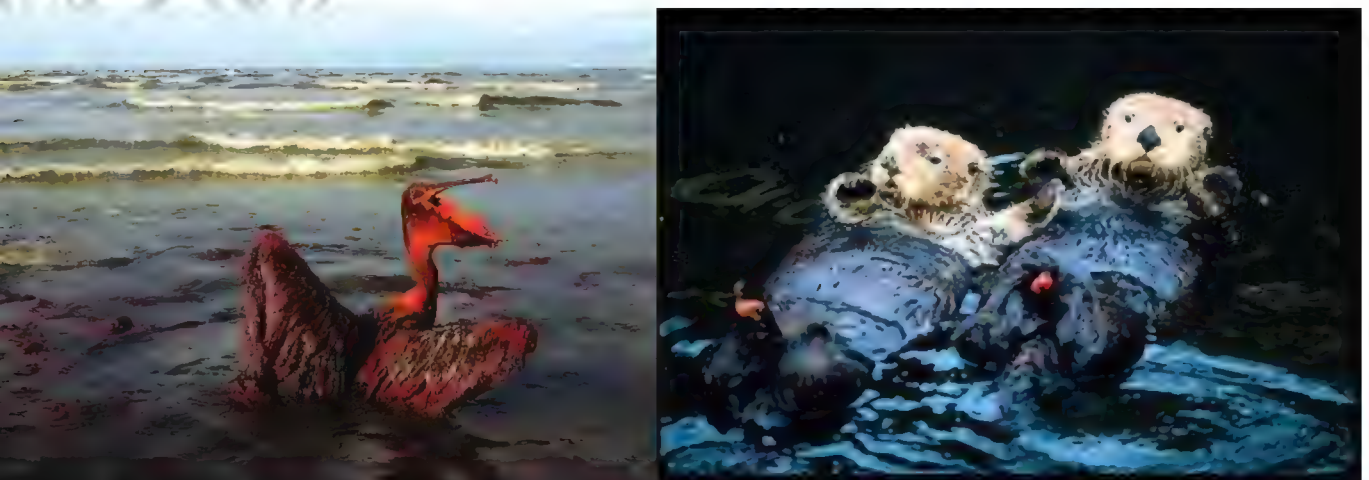
Laut juga bisa tercemar akibat tumpahan minyak dari kegiatan penambangan minyak lepas pantai, kebocoran dan kecelakaan kapal tanker, kebocoran saluran pipa minyak, dan air balas kapal. Selat Malaka merupakan perairan yang sangat rawan akan tumpahan minyak karena merupakan jalur pelayaran kapal-kapal tanker. Pulau Pramuka di Kepulauan Seribu juga sering tercemar oleh tumpahan minyak akibat kebocoran pipa minyak anjungan lepas pantai di perairan sekitarnya. Pada 29 Agustus hingga 3 November 2009, Laut Timor tercemar oleh tumpahan minyak mentah akibat meledak dan terbakarnya unit pengeboran West Atlas milik ladang minyak Montara (Gambar 6.10). Tumpahan minyak di laut merusak ekosistem laut dan mengakibatkan kerugian ekonomi yang besar.

Minyak yang tumpah di laut akan terbawa arus dan gelombang laut ke arah dan terdampar di pantai. Batuan, pasir, dan tumbuhan pantai tertutup oleh tumpahan minyak sehingga pantai kehilangan estetikanya. Tumpahan minyak juga dapat mengakibatkan kematian burung dan mamalia laut. Permukaan laut yang ditutupi minyak mencegah terbentuknya gelombang secara lokal sehingga laut relatif menjadi tenang. Permukaan laut yang tenang menarik burung untuk hinggap di atasnya atau menye-

lam untuk mencari makanan. Minyak yang mengenai bulu burung akan merusak sistem kedap air dan isolasinya sehingga burung akan kedinginan dan akhirnya mati (Gambar 6.11a). Kematian burung dalam jumlah besar terjadi setiap ada pencemaran oleh tumpahan minyak di laut.

Kematian burung akibat tumpahan minyak berdampak pada berkurangnya populasi burung karena jumlah populasi burung yang hilang tidak tergantikan dalam waktu pendek karena laju reproduksinya yang lambat dan umurnya yang relatif panjang. Kemampuan mamalia laut untuk bergerak menghindari kawasan laut yang tercemar tumpahan minyak membuat mereka kurang rentan terhadap dampak tumpahan minyak dibandingkan dengan burung laut (Gambar 6.11b).

Seperti halnya mamalia laut, kematian ikan akibat tumpahan minyak tidak bisa dibilang kecil. Dampak tumpahan minyak terbesar terjadi pada *bentic fish*, yaitu ikan yang hidup di dasar laut. Spesies ikan ini mengalami akumulasi senyawa *aromatic* (karsinogen) pada jaringan tubuhnya. Di samping itu, daerah tempat mereka bertelur (*spawning ground*) juga dapat terkena dampak tumpahan minyak yang berakibat matinya larva karena sensitivitasnya terhadap toksisitas minyak. Kandungan hidrokarbon dengan konsentrasi 5–20 ppm yang ada di dalam tubuh ikan akan membahayakan kesehatan manusia.

Limbah yang berasal dari pertambangan tembaga dan emas atau yang dikenal sebagai *tailing* juga tidak jarang dibuang ke laut, seperti di Teluk Buyat, Manado, Sulawesi Utara dan

Gambar 6.11
(a) Burung (pelican) yang bulunya tercemar oleh tumpahan minyak, dan (b) sepasang berang-berang laut (Sea Otter) yang berusaha berenang menuju pantai untuk menghindari tumpahan minyak.
(Sumber:ronaldmcdonaldusa.blogspot.com; www.kidzworld.com)

Gambar 6.12
Pipa pembuangan limbah *tailing* PT. Newmont Nusa Tenggara.
(Sumber: http://www.hukumonline.com/berita/baca/lt4ba747c218ffa/divestasi-saham-newmont-tuntas;http://finance.detik.com/read/2008/03/26/142538/913660/4/newmont-ganti-pipa-tailing-34-km-di-dasar-laut-sumbawa)

Batu Hijau, Sumbawa, Nusa Tenggara Barat (Gambar 6.12). Ada tiga dampak utama dari pembuangan *tailing* pertambangan ke dasar laur, yaitu meningkatkan kekeruhan air laut, terkontaminasinya air laut oleh bahan pencemar logam berat berbahaya, dan terjadinya pendangkalan dasar laut. Pembuangan *tailing* ke laut mengakibatkan penurunan kualitas air laut karena meningkatnya kekeruhan air laut. Meningkatnya kekeruhan dapat menyebabkan gangguan pada biota laut dan menghambat penetrasi cahaya matahari ke bawah permukaan laut. *Tailing* mengandung beberapa zat-zat kimia beracun seperti sianida, arsen, merkuri, dan kadmium yang sangat berbahaya bagi habitat pesisir. Pembuangan *tailing* dalam jumlah besar ke dasar laut berakibat pada pendangkalan dasar laut. Di samping itu, *tailing* yang jatuh ke dasar laut akan menutup habitat biota bentik (*benthos*) yang berada di atas permukaan dasar laut. Akibatnya, ikan, kerang, dan hewan laut lainya yang makanan utamanya *benthos* akan mati atau harus bermigrasi ke zona yang habitat *benthos*-nya masih baik. Terumbu karang yang tertutup endapan tailing juga akan mati. Habitat *benthos* dan terumbu karang yang rusak akan menurunkan produksi perikanan. Kondisi seperti ini telah terjadi di Teluk Buyat, Manado, Sulawesi Utara.

Tailing bersifat sangat asam dengan nilai pH antara 2–3. *Tailing* yang dibuang ke laut akan menurunkan pH air laut. Kondisi perairan yang ber-pH rendah memudahkan proses pelarutan dan penguraian berbagai senyawa

kimia berbahaya di dalam air laut. Konsekuensinya, toksisitas atau daya racun berbagai zat kimia dan senyawa toksit akan meningkat. Kondisi ini sangat berbahaya bagi biota laut dan manusia penguna air laut tersebut. Sebagai contoh, sianida dalam jumlah yang kecil dapat mematikan ikan; arsen dapat mematikan manusia; merkuri dapat merusak otak, ginjal, hati, dan sistem saraf manusia; kadmium dapat merusak ginjal dan mengakibatkan pelunakan tulang belakang.

Biota laut yang dalam tubuhnya terdapat akumulasi logam berat sangat berbahaya bila dikonsumsi manusia karena dapat menyebabkan mutasi keturunan, seperti yang terjadi di Teluk Minamata, Jepang, pada 1950-an. Banyak anak-anak di sana terlahir cacat akibat pengaruh logam berat yang larut di perairan Teluk Minamata.

Dasar laut dalam kini dijadikan tempat pembuangan limbah radioaktif. Limbah radioaktif adalah jenis limbah yang mengandung atau terkontaminasi radionuklida pada konsentrasi atau aktivitas yang melebihi batas yang diizinkan (*clearance level*) yang ditetapkan oleh Badan Pengawas Tenaga Nuklir (Gambar 6.13). Limbah radioaktif umumnya berasal dari setiap pemanfaatan tenaga nuklir, baik untuk pembangkitan listrik maupun untuk keperluan industri dan rumah sakit. Limbah radioaktif disimpan di dalam tong-tong yang diisolasi dan ditanam di bawah dasar laut dalam. Penanaman limbah radioaktif harus dilakukan di daerah terpencil dengan kedalaman setidaknya 4.000 m dan jauh dari tepi lempeng tektonik di mana gerakan seismik atau letusan gunung berapi bawah laut dapat mengganggu repositori dan ekspose paket limbah. Sedimen dasar laut di tempat penanaman paket limbah harus dapat menghalangi penyebaran limbah radioaktif bilamana terjadi kebocoran paket limbah akibat korosi. Sedimen dasar laut harus relatif homogen yang terdiri dari partikel-partikel yang sangat halus yang mempunyai daya serap tinggi sehingga mampu mengisolasi limbah radioaktif selama ribuan tahun.

Pencemaran di laut tidak saja berasal dari limbah, tetapi juga dari suara. Dilaporkan bahwa antara tahun

Gambar 6.13
Limbah Radioaktif.
(Sumber: yudhipri.wordpress.com)

1950 dan 1975, ambien kebisingan di laut naik sekitar sepuluh desibel (meningkat sepuluh kali lipat). Meningkatnya tingkat kebisingan di laut sangat membahayakan paus yang memiliki penglihatan lemah dan hidup di dunia yang sebagian besar ditentukan oleh informasi akustik. Hal ini berlaku juga untuk banyak ikan laut yang hidup di laut dalam yang gelap.

E. BENCANA IKLIM

Bencana Iklim yang dibahas dalam subbab ini adalah yang terkait dengan interaksi laut dan atmosfer, terutama fenomena El Niño-La Niña yang berdampak pada curah hujan di Indonesia. Selama El Niño dan La Niña berlangsung, terjadi gangguan terhadap pola curah hujan di Indonesia. Fenomena El Niño-La Niña dapat menimbulkan bencana kekeringan ataupun banjir dan bencana lain yang dapat mengacaukan dan merusak pertanian, perikanan, lingkungan, kesehatan, kebutuhan energi, kualitas udara, dan kerusakan lain.

Di Indonesia, ketika El Niño berlangsung, musim kemarau menjadi sangat kering serta mulainya musim hujan terlambat. Kekeringan terpusat di daerah sekitar 120 dan 134 derajat Bujur Barat selatan ekuator. Sebaliknya, pada saat La Niña terjadi kondisi berlawanan di Indonesia, di mana musim penghujan tiba lebih awal dari biasanya dan curah hujan meningkat di atas normal yang mengakibatkan banjir. Pengaruh El Niño dan La Niña terhadap cuaca dan musim untuk masing-masing daerah di Indonesia sangat bergantung pada karakteristik keduanya, seperti intensitas, waktu muncul, durasi, dan faktor iklim lokal. Dampak El Niño-La Niña pada iklim di Indonesia adalah kekeringan dan banjir.

1. Kekeringan

Kita perlu membedakan antara kekeringan (*drought*) dan kondisi kering (*aridity*). Kekeringan adalah kesenjangan antara air yang tersedia dan air yang diperlukan, sedangkan ariditas (kondisi kering) diartikan sebagai keadaan dengan jumlah curah hujan sedikit. Kekeringan dapat terjadi di daerah dengan jumlah curah hujan berlimpah, sementara ariditas merupakan kondisi iklim di daerah tertentu yang dapat dikatakan tetap. Batasan kondisi kering adalah penyimpangan peristiwa meteorologis yang ditandai adanya defisit kelembapan tanah yang tidak normal dalam jangka waktu lama.

Kondisi kering disebabkan oleh kombinasi antara kurangnya jumlah curah hujan dan evapotranspirasi atau penguapan yang besar. Tanah

Gambar 6.14
Kemarau panjang yang menyebabkan sawah di Jatim menjadi kering. *(Sumber: beritafoto.net)*

merupakan salah satu faktor yang menentukan kemungkinan terjadinya kekeringan. Pada lahan yang tidak ditumbuhi tanaman atau vegetasi, evaporasi akan terjadi secara langsung lewat permukaannya akibat pengaruh radiasi matahari dan angin. Apabila keadaan ini tidak terkendali, misalnya pada musim kemarau yang panjang saat El Niño, maka dapat menyebabkan kehilangan air yang cukup besar di daerah pertanian, baik yang teririgasi maupun yang tidak (Gambar 6.14). Tanda kekeringan dimulai dengan berhentinya atau berkurangnya jumlah curah hujan dan ketersediaan air tanah.

Penyebab kekeringan adalah turunnya udara (subsidensi) di daerah konvergensi yang bertekanan tinggi. Subsidensi atau turunnya udara menghalangi pembentukan awan sehingga curah hujan berkurang dan kelembapan rendah. Daerah-daerah konvergensi semipermanen sepanjang tahun biasanya adalah gurun, misalnya Gurun Gobi di Asia dan Gurun Sahara serta Kalahari di Afrika. Kondisi iklim benua maritim Indonesia dipengaruhi oleh variasi sel tekanan tinggi dan sel tekanan rendah yang bergantung pada musim atau pergerakan tahunan matahari melintasi ekuator. Kemarau panjang terjadi jika ada anomali pola sirkulasi atmosfer skala global yang dapat berlangsung satu bulan, satu

musim, atau lebih lama. Intensitas kekeringan meningkat jika dibarengi dengan peristiwa El Niño.

2. Banjir

Banjir adalah suatu bahaya di mana suatu daerah mengalami kelebihan air dalam kurun waktu tertentu yang mengakibatkan daerah tersebut tergenang. Curah hujan yang tinggi adalah penyebab utama banjir. Selain itu, beberapa kegiatan penduduk juga dapat memperbesar risiko bahaya banjir. Kegiatan ini antara lain ekstensifikasi pertanian, kegiatan permukiman, dan penggundulan hutan yang mengakibatkan berkurangnya kemampuan permukaan tanah menyerap dan menyimpan air sehingga mempermudah terjadinya banjir.

Banjir akibat hujan adalah yang paling sering terjadi di Indonesia (Gambar 6.15a). Kerugian yang timbul diperparah dengan bahaya lain yang timbul akibat banjir, seperti menyebarnya wabah penyakit. Jakarta adalah kota yang setiap tahun mengalami banjir. Sudah banyak upaya yang dilakukan untuk menanggulangi banjir di Jakarta, akan tetapi solusi penanganan banjir yang ada tidak dapat sepenuhnya mengatasi banjir karena berbagai permasalahan sosial di masyarakat. Selain itu, fenomena atmosferik skala besar seperti La Niña

Gambar 6.15a
Banjir di Jakarta akibat hujan. *(Sumber: indoboom.com)*

Gambar 6.15b
Banjir akibat Rob (air pasang). *(Sumber: berita8.com)*

menyebabkan banjir yang terjadi lebih besar daripada biasanya.

Lamanya suatu daerah tergenang banjir sangat bergantung pada sistem drainase di daerah tersebut. Suatu daerah memerlukan sistem drainase yang memadai yang berperan mengalirkan limpasan permukaan. Apabila sistem drainase lokal tidak berfungsi dengan baik atau menerima beban hujan yang melebihi kapasitas yang direncanakan, maka pada daerah ini akan terjadi genangan air yang dapat mengganggu aktivitas masyarakat. Apabila drainase suatu daerah tidak berfungsi dengan baik, maka bila terjadi limpasan dari sungai akan terjadi genangan dalam waktu yang lama.

Banjir tidak saja diakibatkan oleh curah hujan yang tinggi, tapi juga oleh melimpahnya air laut memasuki kawasan pesisir yang dikenal sebagai rob (Gambar 6.15). Banjir air laut ini terjadi akibat perubahan tinggi muka air laut akibat perubahan pasang surut, pengaruh tsunami, dan gelombang akibat badai. Perubahan tinggi muka laut akibat pasang surut yang berlangsung secara periodik dapat menggenangi daerah pesisir yang topografinya lebih rendah daripada muka laut rata-rata, seperti pesisir utara Jakarta (misalnya Muara Baru dan Muara Angke) dan Semarang. Genangan banjir air laut akibat pasang surut akan lebih parah bila terjadi bersamaan dengan gelombang badai. Tsunami yang membawa air laut dalam jumlah besar mengakibatkan banjir air laut yang berdampak lebih luas dan merusak dibanding akibat pasang surut dan gelombang badai.

Pengendalian banjir perlu dilakukan untuk mengurangi kerugian yang timbul akibat bencana banjir. Komponen-komponen pokok dalam pengendalian banjir tersebut adalah: manajemen sumber daya air, manajemen tata ruang, manajemen ancaman bencana, dan manajemen kawasan pesisir. Secara umum terdapat dua pola pengendalian, yaitu pola pengendalian banjir secara struktural dan pola pengendalian banjir nonstruktural. Pengendalian banjir secara struktural dapat dibagi menjadi dua jenis, yaitu pengendalian daerah hulu dan pengendalian daerah hilir. Pengendalian banjir di daerah hulu dapat berupa penghijauan lahan, pembangunan infrastruktur bangunan pengendali aliran, dan revitalisasi badan-badan air yang berfungsi dalam konservasi air. Pengendalian secara struktural pada daerah hilir dapat berupa kanalisasi, normalisasi sungai, pembangunan tanggul, pembangunan *reservoir/detention basin*, dan pembangunan tanggul laut. Pengendalian banjir secara nonstruktural berupa pengendalian tata ruang, peningkatan kesadaran masyarakat, pembangunan sistem peringatan dini dan tanggap darurat, pemetaan daerah-daerah rawan banjir, dan konservasi daerah aliran sungai (Tjasjono dkk., 2010).

Karena Indonesia termasuk wilayah yang menjadi siklus rutin, dampak El Niño dan La Niña sudah dapat dipastikan; bencana banjir dan kekeringan akan selalu terjadi di berbagai wilayah di Indonesia. Fenomena kekeringan dan banjir ini telah mengakibatkan kerugian yang besar. Untuk itu diperlukan suatu sistem penanganan yang bersifat komprehensif dan terintegrasi dalam menangani bencana banjir dan kekeringan. Sistem penanganan yang komprehensif dan integratif tersebut dapat dibangun melalui sistem pendukung keputusan berbasis *Remote Sensing* (RS) dan *Geographic Information System* (GIS). Tjasjono dkk. (2010) menjelaskan bahwa Indonesia melalui LAPAN telah melaksanakan sistem mitigasi bencana alam menggunakan teknologi RS, antara lain melalui satelit lingkungan dan cuaca seperti MODIS (*Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer*) dan TRMM (*Tropical Rainfall Measurement Mission*) (BANG FAT JA-LAPAN, 2008). Dengan bantuan satelit-satelit tersebut pemantauan banjir dan kekeringan dapat dilakukan secara *near realtime* karena satelit-satelit tersebut memiliki kemampuan untuk merekam kawasan yang luas dengan periode ulang yang cepat. []

BAB VII
PENUTUP

Tak dapat diingkari bahwa samudra merupakan bagian dari alam kita yang sangat menakjubkan, dan menjadi salah satu tanda (*āyat*) yang sangat jelas tentang kemahakuasaan Allah. Dalam pikiran yang sehat tak akan pernah terlintas jikalau ada makhluk sehebat apa pun di planet ini mampu menciptakan semacam samudra nan luas dengan aneka macam biota laut di dalamnya. Air yang bergelombang susul-menyusul tanpa dapat diketahui secara pasti berapa jumlah volumenya memberi manfaat luar biasa bagi sejumlah besar makhluk, tetapi juga bisa menjadi bencana atau penyebab bencana luar biasa yang sebagiannya terjadi akibat ulah manusia.

Samudra telah menjadi wadah penyedia banyak sekali keperluan bagi makhluk, khususnya manusia, seperti keperluan akan protein—oleh Al-Qur'an disebut sebagai *laḥman ṭariyyan*—dan tersedia sangat melimpah, kemudahan prasarana perhubungan (mobilisasi antarpulau atau antarbenua), serta berbagai komoditas lain dari hasil laut. Di dalam Al-Qur'an disebutkan pula potensi laut dalam menyediakan berbagai produk *taḥsīniyyāt* dalam kehidupan manusia, misalnya industri kerajinan untuk perhiasan, kosmetika, dan sebagainya. (cermati misalnya Surah an-Naḥl/16: 14, Fāṭir/35: 12, dan ar-Raḥmān/55: 19–22). Diyakini masih amat banyak misteri di bawah lapisan-lapisan samu-

dra yang belum terungkap oleh penjelajahan manusia. Betapa banyak ciptaan Allah yang belum terjangkau oleh pengetahuan manusia (cermati misalnya Surah an-Naḥl/16: 8).

Terdapat banyak pelajaran (*mau'iẓah ḥasanah*) yang dapat ditarik dari pembahasan tentang samudra yang telah diperoleh dari tafsir tentang ayat-ayat yang berhubungan dengan laut dan samudra, antara lain: *Pertama*, samudra yang dijelaskan di dalam Al-Qur'an adalah salah satu tanda kebesaran Allah yang harus direnungkan untuk memperdalam dan mempertajam keyakinan kita akan kemahakuasaan dan kemahaesaan Allah sebagai *al-Khāliq* yang menciptakan dan mengatur seluruh alam. Ketika seseorang berada di hadapan hamparan samudra, ia akan merasakan betapa kecilnya ia dan betapa dahsyatnya Sang Pencipta, Allah *Rabbul 'Ālamīn*. Tanda-tanda (*āyat*) yang menjadi keajaiban pada samudra terlalu banyak untuk disingkap dalam ruang yang amat terbatas. Sebaliknya, terlalu sedikit untuk membandingkannya dengan kekuasaan Allah, sehingga seandainya samudra dikalikan tujuh atau lebih dari itu, lalu dijadikan tinta untuk menuliskan kalam Allah, niscaya samudra tak memiliki arti apa-apa (cermati Surah Luqmān/31: 27 dan 31).

Kedua, air laut atau samudra yang sangat melimpah dapat digunakan untuk bersuci (*ṭahārah*) yang disyaratkan dalam berbagai ibadah, seperti untuk istinja, wudu, dan mandi. Air laut termasuk dalam kategori air mutlak, yaitu air suci dan menyucikan (*ṭāhir muṭahhir*). Seperti diketahui, air laut atau samudra memiliki mekanisme yang luar biasa dalam membersihkan air-air yang bermuara padanya dari daerah aliran sungai (DAS). Ia mendaur ulang air-air yang telah dipakai (*musta'mal*) yang mengalir sepanjang aliran sungai jauh dari gunung-gunung lalu melewati perkampungan, industri, ladang-ladang, lalu menuju laut untuk dibersihkan kembali melalui mekanisme gelombang. Gelombang laut membawa air *musta'mal* berikut sampah dan limbahnya bercampur kembali dengan air laut di tengah lautan sedemikian rupa sehingga bersih kembali. Bahwa air laut dapat dipakai bersuci dan ikan yang ada di dalamnya dapat dimakan dijelaskan dalam beberapa hadis misalnya, "*Huwa aṭ-ṭahūr mā'uh, al-ḥill maitatuh.*" (Lihat *Ṣaḥīḥ Ibni Khuzaimah* dan *Sunan Abī Dāwūd*). Tentang kehalalan buruan atau tangkapan nelayan di laut dapat dibaca pada Surah al-Mā'idah/5: 96.

Ketiga, samudra diciptakan untuk menstabilkan alam ini; ada daratan dan ada pula lautan, semuanya saling

memengaruhi. Semua benda alam memiliki manfaat bagi yang lain. Samudra luas menampung semua air yang mengalir dari pegunungan, lembah, hingga bermuara di laut dan samudra. Samudra juga menyuplai air bagi kehidupan di pegunungan dan seluruh permukaan tanah melalui mekanisme angin, awan, dan hujan. Dari hujan inilah makhluk-makhluk memperoleh air untuk minum dan keperluan lain sehari-hari. Dari hujan ini pula tumbuh aneka tanaman dan pepohonan yang dapat diproses menjadi berbagai kebutuhan umat manusia, seperti membuat rumah, perabotan, dan aneka keperluan lainnya. Tidak ada ciptaan Allah yang sia-sia; semuanya memberi manfaat kepada yang lain, baik langsung maupun tidak langsung (cermati misalnya Surah Āli ‘Imrān/3: 191, al-A‘rāf/7: 57, an-Nūr/24: 43, ar-Rūm/30: 48, dan Fāṭir/35: 9).

Keempat, samudra diciptakan oleh Allah untuk memberi kemudahan dan penghidupan bagi umat manusia. Dalam beberapa ayat Al-Qur'an Allah menjelaskan kemudahan melakukan mobilisasi di laut dan samudra dengan karakteristik berat jenis air laut, keterbukaan bintang-bintang di langit yang bisa menjadi petunjuk arah, angin dan gelombang yang dapat memudahkan pelayaran, dan sebagainya. Sementara itu, jenis ikan yang tersedia dengan aneka macam bentuknya menjadi sumber protein yang bernilai gizi tinggi bagi manusia. Bagaimana potensi ikan-ikan itu berkembang atau bereproduksi secara melimpah dan menyediakan makanan secara berantai bagi manusia adalah hal yang luar biasa. Mekanisme ikan besar memangsa yang kecil menyebabkan sumber makanan itu tidak “lenyap” dan juga tidak semuanya menjadi besar, melainkan hanya berpindah tempat pada tubuh ikan besar, agar samudra tidak terpenuhi oleh sejumlah besar ikan yang tidak tertangkap oleh nelayan yang itu akan menyebabkan laut dipenuhi ikan raksasa dan mati secara massal. Kemudahan bergerak di laut atau antara satu pulau ke pulau lain, dan ketersediaan makanan, perhiasan, dan berbagai jenis komoditas dan keperluan manusia, dapat dibaca misalnya dalam Surah al-Baqarah/2: 164, al-Mā'idah/5: 96, Ibrāhīm/ 14: 32, an-Naḥl/16: 14, al-Isrā'/17: 66, al-Ḥajj/22: 65, dan al-Jāṡiyah/45: 12.

Kelima, samudra luas menyimpan kekuatan dahsyat. Ia dapat meluluhlantakkan berbagai benda yang dilaluinya. Kita mengenal badai besar di tengah samudra, topan laut, tsunami, dan berbagai jenis gelombang yang menggulung-gulungkan benda. Di masa lampau terdapat penguasa-penguasa ingkar yang mengalami tra-

gedi ditenggelamkan di laut karena keingkarannya (Surah al-Baqarah/2: 50, al-Anfāl/8: 54, dan Yūnus/ 10: 90).

Keenam, Al-Qur'an memberi pesan moral kepada manusia untuk senantiasa memelihara dan memanfaatkan karunia Allah sebaik-baiknya, tanpa merusaknya. Alam dianugerahkan Allah untuk seluruh makhluk, termasuk kepada generasi yang akan lahir sesudah generasi kita saat ini. Kerusakan dapat terjadi di laut maupun di darat karena ulah manusia (cermati Surah ar-Rūm/30: 41). []

DAFTAR PUSTAKA

Afzalur Rahman, *Ensiklopediana Ilmu dalam Al-Qur'an*, Bandung: Mizania, 2007.

al-Ālūsi, Syihābuddīn Maḥmūd, *Rūḥul-Ma'ānī fī Tafsīril-Qur'ān al-'Aẓīm wa as-Sab' al-Maśānī,* Beirut: Darul-Fikr, t.th.

Budiman, A., *Menyelami Kedalaman Hakekat Ilmu Pengetahuan-Pengetahuan Sarat Nilai dalam Memahami dan Melestarikan Lingkungan*, Bogor: Pusat Penelitan Biologi-LIPI, 2007.

________, Ahmad Jauhar Arief, dan Edy Nasriady Sambas, *Membaca Gerak Alam Semesta; Mengenali Jejak Sang Pencipta*, Jakarta: LIPI Press, 2007.

Drever, J. I., *The Geochemistry of Natural Waters, the 2nd Edition*, New Jersey: Prentice Hall-Englewood Cliffs, 1990.

Garrison, T., *Essential of Oceanography*, Mason: Thomson Learning, Inc., 2006.

Hall., "Reconstructing Cenozoic SE Asia", dalam Hall, R. & Blundell, D. (eds.), *Tectonic Evolution of Southeast Asia*, Geological Society of London Special Publication No. 106, pp. 153–184, 1996.

Hanebuth, T., Stattegger, K., Grootes, P.M., "Rapid Flooding of the Sunda Shelf: A Late-Glacial Sea-Level Record", dalam *Science*, Vol. 288 , 12 Mei 2000.

Hantoro W.S., Widiantoro S., Handayani L., Susilohadi, Azis M.F. Yusmiana P. Rachmawati A., Kusmanto E., "Sunda Epicontinental Platform: Physio-

graphical-Geological Setting and Its Progress on Fluviatil Sediment's Research Around South China Sea." (bahan presentasi dalam bentuk *powerpoint*)

Harjono, H., *Geodinamique du Detroit de la Sonde (Indonesie): Apport de donnee microsismicite et implication volcanologique*, Disertasi Docteur en Science, Universite de Paris XI, 1988.

Harjono, H., Diament, M., Nouaili, L., Dubois, J., "Detection of Magma Bodies Beneath Krakatau Volcano (Indonesia) from Anomalous Shear Waves", *J. Volc. Geother. Res.*, 39, 335–348, 1989.

Harjono, H, Diament, M., Dubois, J., Larue, M., Zen, M.T., "Seismicity of The Sunda Strait: Evidence for Crustal Extension and Volcanological Implications", *Tectonics*, Vol. 10, No. 1, 17–30, 1991.

Harjono, H., Dahrin, D., Wirasantosa, S., "Neogene Opening of The Sunda Strait: Constraint from Gravity Data", *Proceedings Oji Seminar*, Kyoto, 1995.

Hedgpeth, J. W., "Lautan", *Ilmu Pengetahuan Populer*, New York: Grolier International, Inc., 2006.

Ibnu 'Āsyūr, Muḥammad Ṭāhir, *at-Taḥrīr wa at-Tanwīr (Tafsir Ibni 'Āsyūr)*, Beirut: Mu'assasah at-Tārīkh al-'Arabi, 2000.

Ibnu Manẓūr, Muḥammad bin Mukarram, *Lisanul-'Arab*, Beirut: Dār Ṣadr, t.th.

Kementerian Agama, *Al-Qur'an dan Terjemahnya*, Jakarta: CV Naladana, 2006.

________, *Pelestarian Lingkungan Hidup, Seri Empat Tafsir Al-Qur'an Tematik*, Jakarta: Lajnah Pentashihan Mushaf Al-Qur'an, Badan Libang Dan Diklat, Kementerian Agama, 2009.

________, *Air dalam Persfektif Al-Qur'an dan Sains*, Jakarta: Lajnah Pentashihan Mushaf Al-Qur'an, Badan Litbang dan Diklat, Kementerian Agama, 2010.

Kusumastanto, T., *Analisis Ekonomi Kelautan dan Arah Kebijakan Pengembangan Jasa Kelautan*, Bogor: PKSPL-IPB, 2007.

Lajnah min 'Ulamā' Al-Azhar, *Tafsir al-Muntakhab*, Kairo: t.p., t.th.

Lapouille, A., Harjono, H., Larue, M., Pramumijoyo, S., Lardy, L., "Age and Origin of The Seafloor of The Banda Sea (Eastern Indonesia)", *Oceanological Acta*, Vol. 8, No. 4, 1985.

Lassal, O., Huchon, P., Harjono, H., "Extension Crustal Dans le Detroit de la Sonde (Indonesie)", *Donnees de la Sismique Reflexion (Campagne Krakatau)*, C.R. Acad. Sci. Paris, t. 309, Serie II, P. 205–212, 1989.

Latief H, Gusman A., Julkarnaen, D., *Pemodelan Tsunami Pangandaran*, Laporan

Penelitian, Tsunami Research Group, Bandung: ITB, 2006.

Latief, H. dan S. Hadi, "Thematic Paper: The Role of Forests and Trees in Protecting Coastal Areas Against Tsunamis", *Proceeding of the Regional Technical Workshop for Coastal Protection Aftermath of The Indian Ocean Tsunami What Role for Forest and Trees*, FAO-RAP Publication, 2007.

Lubis, S., *Roadmap Penelitian Dan Pengembangan Energi Arus Laut*, Jakarta: PPPGL, Kementerian ESDM, 2011.

Munk, W., "Gelombang Laut", *Ilmu Pengetahuan Populer*, New York: Grolier International, Inc., 2006.

Permana, H., "Submarine Metallogenic Resources and Its Management: Case of Sunda Strait and Northern Sulawesi Waters", *Laporan Akhir Riset Unggulan Terpadu Internasional (RUTI-I)*, Jakarta: Kemristek dan LIPI, 2004.

Pickard, G.L., *Descriptive Oceanography*, Pergamon Press, 1965.

Pujiana, K., *Pemodelan Gelombang Internal di Selat Lombok* (Tesis), Bandung: ITB, 2005.

al-Qusyairi, 'Abdul-Karīm, *Laṭā'iful-Isyārāt (Tafsīr al-Qusyairi)*, Kairo: al-Hai'ah al-Miṣriyyah al-'Āmmah lil-Kitāb, Edisi 3, t.th.

Quṭb, Sayyid, *Fī Ẓilālil-Qur'ān*, Beirut: Dārul-Fikr, t.th.

Soepardjo, A. H., *Potensi dan Teknologi Energi Samudera Dalam Eksplorasi Sumber daya Budaya Maritim*, Jakarta: Departemen Kelautan dan Perikanan–Pusat Penelitian Kemasyarakatan dan Budaya, Universitas Indonesia, 2005.

Sathiamurthy, E., Voris, H.K., "Maps of Holocene Sea Level Transgression and Submerged Lakes on The Sunda Shelf", *The Natural History Journal of Chulalongkorn University*, Supplement 2: 1–44, Agustus 2006.

Satyana, A.H., "Bali-Lombok Gap: A Distinc Geo-biologic Border of Wallace Line", *Berita Sedimentologi*, No. 25, November 2012.

Silver, E. A., Gill, J. B., Schwartz, D., Prasetyo, H., Duncan, R. A., "Evidence for a Submerged and Displaced Continental Borderland, North Banda Sea, Indonesia", *Geology*, Vol. 13, 687–691, 1985.

Susanto, R. D., Mitnik, L., Zheng, Q., "Ocean Internal Waves Observed in The Lombok Strait", *Oceanography*, Vol. 18, No. 4, 2005.

Tapponnier, P., Peltzer, G., Le Dain, A.Y., Armijo, R., "Propagating Extrusion Tectonics in Asia: New Insights from Simple Experiments with Plasticine", *Geology*, Vol. 10, 611–616, 1982.

Taslaman, C., *Miracle of The Quran; Kejaiban Al-Quran Mengungkap Penemuan-Penemuan Ilmiah Modern*, Bandung: Mizan, 2010.

aṭ-Ṭabari, Ibnu Jarīr, *Jāmi'ul-Bayān fī Ta'wīlil-Qur'ān*, taḥqīq: Aḥmad Muḥammad Syākir, Beirut: Mu'assasah ar-Risālah, 1420 H.

Tjasjono, H. K., et.al., *Bencana Atmosmerik, dalam Mengelola Risiko Bencana di Negara Maritim Indonesia*, Vol. 1. Bandung: LPPM-ITB, 2010.

Voris, H.K, "Map of Pleistocene Sea Levels in Southeast Asia: Shoreline, River Systems, and Time Durations", *Journal of Biogeography*, Vol. 27, No. 1, 1153–1167, 2000.

Wagey, T., "Presentasi pada Rakornas The Cencus of Marine Life (CoML) LIPI", Jakarta, Rabu, 25 Januari 2012.

http://acvoters.org/legislative-session/conservation-watch

http://adios19.wordpress.com/2011/06/09/rahasia-rumput-laut-sebagai-bioenergi

http://ars.els-cdn.com/

http://dcm2.enr.state.nc.us

http://esdm.go.id

http://finance.detik.com/read/2008/03/26/142538/913660/4/newmont-ganti-pipa-tailing-34-km-di-dasar-laut-sumbawa

http://id.wikipedia.org/wiki/Energi_gelombang

http://id.wikipedia.org/wiki/Penyimpanan_energi

http://iri.columbia.edu/climate/ENSO/background/pastevent.hmtl/

http://majalahenergi.com/forum/energi-baru-dan-terbarukan/energi-laut/tf-2106-konversi-energi-sistem-pembangkit-listrik-tenaga-laut

http://oceanmotion.org/images/ocean-vertical-structure_clip_image002.jpg

http://oke.or.id/wp-content/uploads/2010/12/wave-dan-tidal-energy.pdf

http://pijar.org/content/view/217/72/

http://rumputlautindonesia.blogspot.com/2010/10/rumput-laut-dari-suplement-hingga-bio.html

http://www.alpensteel.com/article/52-106-energi-laut-ombakgelombangarus/530-energi-gelombang-laut.html

http://www.alpensteel.com/article/52-106-energi-laut-ombakgelombangarus/533-pemanfaatan-energi-ombak-sebagai-pembangkit-tenaga-listrik.html

http://www.alpensteel.com/article/53-101-energi-terbarukan--renewable-

energy/338-energi-pasang-surut-sebagai-energi-terbarukan.html
http://www.alternative-energy-news.info/technology/hydro/wave-power/
http://www.bluenergy.com
http://www.boston.com/bigpicture/2009/12/five_years_since_the_tsunami.html
http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/ensocycle/ensocycle.shtml
http://www.cpc.noaa.gov/
http://www.den.go.id/index.php/majalah/download/2
http://www.detik.com/
http://www.e-dukasi.net/pengpop/pp_full.php
http://www.eng.warwick.ac.uk/staff/gpk/Teaching-undergrad/es427/rice.glacier.edu oceans/
http://www.geos.ed.ac.uk/homes/williams
http://www.geothermal-energy.org
http://www.global-greenhouse-warming.com
http://www.greenlivingearth.net/category/oil-pollution/
http://www.hukumonline.com/berita/baca/lt4ba747c218ffa/divestasi-saham-newmont-tuntas
http://www.hurricanescience.org/science/basic/water/
http://www.jamstec.go.jp/frsgc/research/d1/iod
http://www.kompas.com
http://www.marineturbines.com
http://www.nhc.noaa.gov/HAW2/english/storm_surge.shtml
http://www.norwegia.or.id
http://www.nwf.org/Global-Warming/School-Solutions/Eco-Schools-USA
http://www.oc.nps.edu/nom/day1/partc.html
http://www.pmel.noaa.gov/tao/proj_over/diagrams/index.html/
http://www.pnas.org/
http://www.sinarharapan.co.id
http://www.soc.soton.ac.uk/JRD/SCHOOL/mt/mt001b_2.html
http://www.tempo.co/topik/masalah/216/SampahLimbah-Industri
http://www.tempointeraktif.com/hg/iptek/2010/06/21/brk,20100621-257065,id.html
http://www.terranet.or.id
http://www.theibug.com/403/deepwater-platform-oil-spills-for-dummies.html/

http://www.wikipedia.org/
bloggermalam.blogspot.com
denimetro.bogspot.com
nurudin.jauhari.net
palaeoblog.blogspot.com
sungailinau-kayuara.blogspot.com
wilson-therik.blogspot.com
yudhipri.wordpress.com

INDEKS

A

‘Abdul Karīm al-Qusyairi 17
Accoustic Doppler Current Profiler 90
accretion 5, 6
ADCP 90
Afrika 28, 116
Agri Dag 74
Al-Ālūsi 17
al-baḥr 2
alga 93
al-Khāliq 40
alutsista 74
al-yamm 1
ambien kebisingan 115
Amerika Selatan 28, 31
Amerika Serikat 57
Amerika Tengah 28
Amplitudo 45
Anak Krakatau 19
anomali magnetik 22
antiasma 66
antibakteri 66
antifouling 66
Arafuru 30
Ararat 74
Archaean 24
Archimedes 77
ariditas 115
Armenia 74
Ashok 32
astenosfer 11
asteroid 5
asthenosphere 11
atmosferik 7
Australia 17, 18, 48
az-Zamakhsyari 60

B

B-16 melanoma 67
badai 123
Badai Nicholas 102
Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika 101
Badan Pengawas Tenaga Nuklir 114
Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi 85
Bagan Siapiapi 88
Bali 57, 87
BANG FAT JA-LAPAN 119
Bani Israil 99
baronang 56
bastadin 67
batimetri 20
Batu Hijau 113
Bayi Kristus 28
Bay of Fund 89
Belanda 16
benthos 113
Benua Eurasia 17
Benua Maritim Indonesia 32
best fitting 20
Bibel 74
bidirectional 90
bijih emas 48
biodiesel 93
Bioenergy Research Center, Institut Pertanian Bogor 94
biofuel 93
biota laut 2
blooming fitoplankton 110
blue-green algae 24
BMI 32
BMKG 101
Bowin 22
BPPT 85
Bunaken 57

C

cakalang 56
Candi Borobudur 75
Carpenteria 18
Carter 22
caulerpa 92
Cekungan Makassar 20
Cekungan Makassar Selatan 20
Cencus of Marine Life 65
chemosynthesis 49
clearance level 114
CO_2 9
Collins 27
crust 10
crustal stretching 20
Cyanobacteria 24, 67

D

ḍarūriyyāt 64
Darwin 28
DAS 122
deep layer 49
deep sea 57
desibel 115
detention 119
DHA 60, 68
Dipole Mode 32

Dipole Mode Negatif 32
Dipole Mode Positif 32
disphotic 52
DKP 102
DMN 32
Dokosa Hexanoic Acid 68
drainase 118
drought 115
Dr. Rokhmin Dahuri 66
dry land 17

E

ebb period 88
Eicosa Pentanoic Acid 68
ekor kuning 56
ekosistem 59
ekspose paket limbah 114
ekstensifikasi pertanian 117
Ekuador 28
ekuator 27, 28, 117
El Niño 99, 115, 119
ENSO 27, 28
EPA 60, 68
erosi 99
erythraeum 13
Eskimo 61
estuari 42
Estuari Rance 89
euphotic 51
evaporasi 13
evapotranspirasi 116
extremophilles 9

F

fasād 40
fauna 18
fetch 44
Filum Ecinodermata laut 68
Firaun 13
fitoplankton 52
fjord 43
flood time 88
fluida 11, 86
formalin 68
fosfor 60
fotosintetik 24

G

Galveston 102
gamat 68
ganggang 13
Garis Lydekker 18
Garis Wallace 18
Garis Weber 18
Garrison 102
Gellidium sp 93
Geographic Information System 119
geostropik 90
global warming 97
Gomorah 13, 14
Gracilaria 93
grand deluge 8
granitik 9, 17
Greenland 6
groin 109
Gunung Kidul 102

Gunung Krakatau 20, 106
Gurun Gobi 116

H

Hadean 24
halimeda 92
Hall 20
halocline layer 49
haloklin 49
Hamilton 22
Hanebuth 16
Harjono 19, 20
Hawaii 87
haikal 63
Hedgpeth 3
hidrokarbon 17
hidrotermal 49
Holoturia 68
homogen 49
Hulls 83
hydrothermal vents 48
hyperthermophilles 9
hypnea 92

I

Ibnu 'Āsyūr 72, 97
Iceland 10
illegal logging 96
Indian Ocean Dipole 27, 32
Indonesia 48, 117
informasi akustik 115
Inggris 57
Inha University Korea 94
interannual 27
interface 44
internal waves 44
invertebrata 67
inverted barometer effect 100
IOD 32
Iran 74
isrāf 40
istinja 122

J

jabhah 39
Jakarta 117, 118
Jamstec 85
Japan Marine Science & Technology Center 85
Jawa 16, 32
Jepang 61, 114

K

kakap 56
Kalahari 116
kaldera 19
Kalimantan 16
kappaphycus 92
karbondioksida 7
Karimunjawa 102
karsinogen 113
Katili 22
Kementerian Kelautan dan Perikanan 102
Kepulauan Aru 18
Kepulauan Sula 90

Kerajaan Medang 76
kerapu 56
khitin 68
khitosan 68
Kimberly 89
Kitech 93
klorofil 67
kolagen 68
Kondensasi 8
konvergensi semipermanen 116
Korea Institute of Industrial Technology 93
krustasea 67
kuda laut 67
Kuenen 16
Kuroshio 43

L

laḥman ṭariyyan 121
Laminaria 93
La Niña 99, 115, 118, 119
LAPAN 119
Lapouille 22
Lassal 20
Late Glacial Maximum 16
laurencia 92
Lautan Atlantik 42
Lautan Atlatik Utara 41
Lautan Hindia 43
Laut Arafuru 17
Laut Aral 13
Laut Arktik 46
Laut Banda 17, 22, 48, 57
Laut Cina Selatan 16, 62
Laut Flores 45
Laut Jawa 43
Laut Kaspia 13
Laut Maluku 48
Laut Mati 13
Laut Mediterania 41
Laut Merah 13, 14
Laut Sulawesi 48
Laut Tengah 41
Laut Timor 17
lempeng Eurasia 16
lempeng Sulawesi 22
Lenin 79
leukimia 67
LGM 17
Limbah radioaktif 114
liquid 6
lithosphere 10
litosfer 10
lobster 68
Lokngha 106
Lombok 57

M

M5076 sarcoma 67
Madagaskar 76
Maluku 57
Maluku Utara 90
mangrove 96, 108
Marine Current Turbines 85
maritim 116
Matsui 93
mau'iẓah ḥasanah 122
mercury 61

Mesozoikum 22
meteorologi 54
meteorologis 115
Mighty Whale 85
Mikrofosil 24
mikroorganisme 24
mikroskop 40
mikroskopis 62
Miosen 20, 22
mitigasi 119
Moderate Resolution Imaging Spectro-radiometer 119
MODIS 119
moluska 62
monoalide 67
Montara 111
morfologi 9
Muara Angke 118
Muara Baru 118
mucopolisacarida 68
Musa 2
muśannā 2
musta'mal 122
mutiara 63

N

Nabi Lut 13
Nabi Nuh 73
Nabi Sulaiman 63
nacre 63
Nauru 86
near realtime 120
Neogen Akhir 22
Nusa Tenggara 90
Nusa Tenggara Barat 88

O

Ocean Thermal Energy Conversion 81, 87
Ocenia 65
okadaic acid 67
Okinawa 61
Oligosen 20
omega-3 60
oncolith 24
oscillatoriaceae 67
Oseanografi 90
Osilasi Selatan 28
OTEC 82, 87
OWC 84
Oyashio 43

P

Padina 93
Paleogen 20
Paleotethys 11
Palu Graben 88
palung 10
Pangandaran 102
Pangea 11
Pantai Bajulmati 102
Pantai Baron 85, 102
Panthalassa 11
Paparan Sahul 15
Paparan Sunda 15
Papua 17, 28, 57
Papua Nugini 18

Pasifik ekuator 30
Pasifik tropis 29
payau 2
Pelabuhan Ratu 102
Pelampung Salter 83
Perancis 57
Permana 48
Peru 28, 31
pesisir 118
Philander 29
phycosianin 67
picnocline layer 49
piknoklin 49, 51
Pinti 6
Planet Mars 7
PL Fraenkel 90
Pliosen 20
politeisme 38
porphyra 92
presipitasi 54
propeler 46
proven design 91
PT Dirgantara Indonesia 90
Pulau Islandia 10
Pulau Islay 82
Pulau Mangole 90
Pulau Seribu 57
Pulau Taliabu 90
Puslitbang Geologi Kelautan 90
pycocyanin 67

R

radio isotop 6
Raja Ampat 57
rajungan 68
Rancabuaya 102
Rankine 86
Red tide 111
Remote Sensing 119
repositori 114
reservoir 119
reservoir area 89
rhodymenia 92
Rusia 57

S

Ṣaḥīḥ Ibni Khuzaimah 122
Sahul Shelf 15
Saji 32
salinitas 6, 49
Samudra Atlantik 10
Samudra Hindia 13, 22, 62
Samudra Pasifik 22, 28, 30
sargassum 92, 93
satelit 120
Sathiamurthy 16, 17
Satyana 18
Sayyid Quṭb 64
SBRC-IPB 94
Scientific Committe on Oceanic Research 27
SCOR 27
Seacoast Test Facility 87
seaweed 92
Sedimen dasar laut 114
sedimen fosforit 6
seismik 114
Selat Alas 90

Selat Flores 90
Selat Gibraltar 41
Selat Lombok 45, 90
Selat Makassar 16, 19
Selat Malaka 62
Selat Nusa Penida 90
Selat Sunda 19
Semarang 118
seng 48
sill 45
Silver 22
Skotlandia 57
Sodom 13, 14
soft corals 66
South East Asia Continental Shelf 16
Southern Oscillation 27, 28
Spirulina maxima 67
Spirulina platensis 67
sponge Luffariella variabilis 67
Sriwijaya 75
SST 28
step over discontuinity 14
storm tide 100
Stromatolit 24
Strong El Niño 30
submarine hydrothermal activity 48
subsidensi 116
Sulawesi 57
Sumatera 16, 32
Sunan Abī Dāwūd 122
Sunda Shelf 15
Sungai Jordan 15
sunlight zone 52
superkontinen 11
surface layer 51

T

Tabung Masuda 83
Tabung Tegak Kayser 83
Tafsir al-Muntakhab 19
Tahiti 28
Tapchan 85
Tappered Channel 85
Tapponnier 16
taskhīr 2
taśniah 2
Teluk Aden 13
Teluk Benggala 102
Teluk Bima 88
Teluk Buyat 113
Teluk Meksiko 102
Teluk Minamata 114
Teluk Palu 88
Teluk Torres 18
tembaga 48
tengiri 60
TEPSCO 86
teripang 65
termoklin 50
Tersier 22
tetanus 67
Tethys 11
tetrodotoksin 67
The North Sunda River 16
thermocline layer 49
Timur Tengah 13
Tjasjono 119
Tokyo Electric Power Service 86
tonase 77
tongkol 60

topan 123
topografi Laut Mati 14
transform faults 10
Trias 12
Trichodesmium 13
Tridemnum sp 67
TRMM 119
Tropical Rainfall Measurement Mission 119
tsunami 19, 99, 118
Tsunami Aceh 106
Tsunami Flores 106
Tsunami Krakatau 106
Tsunami Oma 106
tuna 56, 60
tunicate 67
turbinaria 92
Turki 74
twilight zone 52

U

Ulva 93
upwelling 29, 31
USS Enterprise 79

V

vertical crustal movement 19
viagra 67
Voris 16

W

Wagey 65
Wakatobi 57
Weak La Niña 31
West Atlas 111
wind waves 44

Y

Yan 29
Yoshio Masuda 84

Z

Zaman Es Terakhir 17
zeasantin 67
zirkon 7
zona *rift* 14